

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství
Katedra neželezných kovů, rafinace a recyklace

Hydrometalurgické zpracování vybraných druhů
elektroodpadu

Hydrometallurgical processing of chosen e-waste

Student: Bc. Klára Beníčková

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Silvie Brožová, Ph.D.

Ostrava 2016

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Klára Beníčková**
Studijní program: N3923 Materiálové inženýrství
Studijní obor: 3911T033 Recyklace materiálů
Téma: **Hydrometalurgické zpracování vybraných druhů elektroodpadu.**
Hydrometallurgical processing of chosen e-waste.
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Úvod a cíl práce.
2. Vypracování literární rešerše z domácí a zahraniční literatury k dané problematice.
3. Popis známých hydrometalurgických postupů při recyklaci vybraných druhů elektroodpadu.
4. Posouzení technologických, ekologických a ekonomických možností recyklace elektroodpadu.
5. Experimentální část: hydrometalurgické zpracování a získání zájmových produktů.
6. Závěr – celkové hodnocení, perspektivy.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] Odpady 2005-2015
- [2] HAVLIK, T. Hydrometalurgia. Košice, 2005, 485 s.
- [3] Rewas 2008, Global Symposium on Recycling, Waste Treatment and Clean technology. ISBN 978-0-87339-126-1
- [4] KRIŠTOFOVÁ, D. Recyklace ušlechtilých kovů. Ostrava 2001.
- [5] Výzkumné zprávy
- [6] Internetové odkazy

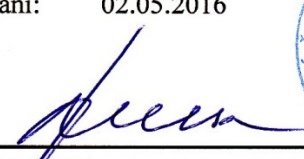
Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Silvie Brožová, Ph.D.**

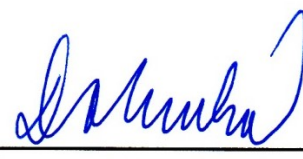
Konzultant diplomové práce: prof. Ing. Jana Seidlerová, CSc.

Datum zadání: 30.11.2015

Datum odevzdání: 02.05.2016


prof. Ing. Miroslav Kurs, CSc.
vedoucí katedry




prof. Ing. Jana Dobrovská, CSc.
děkanka fakulty

Zásady pro vypracování diplomové práce

I.

Diplomovou prací (dále jen DP) se ověřují vědomosti a dovednosti, které student získal během studia, a jeho schopnosti využívat je při řešení teoretických i praktických problémů.

II.

Uspořádání diplomové práce:

- | | |
|--|------------------------------|
| 1. Titulní list | 6. Obsah DP |
| 2. Originál zadání DP | 7. Textová část DP |
| 3. Zásady pro vypracování DP | 8. Seznam použité literatury |
| 4. Prohlášení + místopřísežné prohlášení | 9. Přílohy |
| 5. Abstrakt + klíčová slova česky a anglicky | |

ad 1) Titulní list je koncipován podle požadavků příslušné oborové katedry.

ad 2) Originál zadání DP student obdrží na své oborové katedře.

ad 3) Tyto „Zásady pro vypracování diplomové práce“ následují za originálem zadání DP. („Zásady pro vypracování diplomové práce“ jsou ke stažení na webových stránkách fakulty).

ad 4) Prohlášení + místopřísežné prohlášení napsané na zvláštním listu (ke stažení na webových stránkách fakulty) a vlastnoručně podepsané studentem s uvedením data odevzdání DP. V případě, že DP vychází ze spolupráce s jinými právníckými a fyzickými osobami a obsahuje citlivé údaje, je na zvláštním listě vloženo prohlášení spolupracující právnícké nebo fyzické osoby o souhlasu se zveřejněním DP.

ad 5) Abstrakt a klíčová slova jsou uvedena na zvláštním listu česky a anglicky v rozsahu max. 1 strany pro obě jazykové verze.

ad 6) Obsah DP se uvádí na zvláštním listu. Zahrnuje názvy všech očíslovaných kapitol, podkapitol a statí textové části DP, odkaz na seznam příloh a seznam použité literatury, s uvedením příslušné stránky. Předpokládá se desetinné číslování.

ad 7) Textová část DP obvykle zahrnuje:

- Úvod, obsahující charakteristiku řešeného problému a cíle jeho řešení v souladu se zadáním DP;
- Vlastní rozpracování DP (včetně obrázků, tabulek, výpočtů) s dílčími závěry, vhodně členěné do kapitol a podkapitol podle povahy problému;
- Závěr, obsahující celkové hodnocení výsledků DP z hlediska stanoveného zadání.

DP bude zpracována v rozsahu min. cca 45 stran (včetně obsahu a seznamu použité literatury). V případě, kdy zadání DP vychází ze spolupráce se subjekty mimo VŠB -TU Ostrava a řešení studenta, týkající se citlivých dat spolupracujícího subjektu, je zpracováno v samostatné zprávě, tak zveřejněná část DP bude zpracována v rozsahu min. 25 stran a celkový rozsah DP bude min. 45 stran.

Text musí být napsán vhodným textovým editorem počítače po jedné straně bílého nelesklého papíru formátu A4 při respektování následující doporučené úpravy - písmo Times New Roman 12b; řádkování 1,5; okraje – horní, dolní – 2,5 cm, levý – 3 cm, pravý 2 cm, zarovnání do bloku. Fotografie, schémata, obrázky, tabulky musí být očíslovány a musí na ně být v textu poukázáno.

Budou zařazeny průběžně v textu, pouze je-li to nezbytně nutné, jako přílohy (viz ad 9). Odborná terminologie práce musí odpovídat platným normám. Všechny výpočty musí být přehledně uspořádány tak, aby každý odborník byl schopen přezkoušet jejich správnost. Matematické vzorce musí být číslovány (v kulatých závorkách). U vzorců, údajů a hodnot převzatých z odborné literatury nebo z praxe musí být uveden jejich pramen - u literatury citován číselným odkazem (v hranatých závorkách) na seznam použité literatury. Nedostatky ve způsobu vyjadřování, nedostatky gramatické, neopravené chyby v textu mohou snížit klasifikaci práce.

ad 8) DP bude obsahovat alespoň 15 literárních odkazů, z toho nejméně 5 v některém ze světových jazyků.

Seznam použité literatury se píše na zvláštním listě. **Citaci literatury je nutno uvádět důsledně v souladu s ČSN ISO 690.** Na práce uvedené v seznamu použité literatury musí být uveden odkaz v textu DP.

ad 9) Přílohy budou obsahovat jen ty části (speciální výpočty, zdrojové texty programů aj.), které nelze vhodně včlenit do vlastní textové části např. z důvodu ztráty srozumitelnosti.

III.

Diplomovou práci student odevzdá ve dvou knihařsky svázaných vyhotoveních, pokud katedra garantující studijní obor neurčí jiný počet. Vnější desky budou označeny takto:

nahoře: *Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava*
Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství
Katedra

uprostřed: *DIPLOMOVÁ PRÁCE*

dole: *Rok* *Jméno a příjmení*

Kromě těchto dvou knihařsky svázaných výtisků odevzdá student kompletní DP také v elektronické formě do IS EDISON. Práce vložená v elektronické formě do IS EDISON se musí zcela shodovat s prací odevzdanou v tištěné formě. Po vložení DP do IS EDISON bude provedena její kontrola na plagiátorství.

IV.

Nesplnění výše uvedených zásad pro vypracování diplomové práce může být důvodem nepřijetí práce k obhajobě. O nepřijetí práce k obhajobě rozhoduje v tomto případě garant příslušného studijního oboru. Tyto zásady jsou závazné pro studenty všech studijních programů a forem navazujícího magisterského studia Fakulty metalurgie a materiálového inženýrství Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava od akademického roku 2015/2016.

Ostrava 2. 11. 2015


Prof. Ing. Jana Dobrovská, CSc.
děkanka Fakulty metalurgie a materiálového inženýrství
VŠB-TU Ostrava

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- jsem byla seznámena s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména §35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního (§60 - školní dílo);
- беру на вѣдомі, же Высoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB - TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3);
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude archivována v elektronické formě v databázi Ústřední knihovny VŠB - TUO a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB - TUO;
- bylo sjednáno, že s VŠB - TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona;
- bylo sjednáno, že užít své dílo - diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB - TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB - TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- беру на вѣдомі, же оdevzdáním své diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (Zákon o vysokých školách) bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Místopřísežně prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci vypracovala samostatně.

V Ostravě 2. května 2016



.....
podpis (jméno a příjmení studenta)

Poděkování

Děkuji doc. Ing. Silvii Brožové, Ph.D. za dohled a kontrolu, odbornou konzultaci a pomoc při zpracování praktické části této diplomové práce. Také bych chtěla poděkovat konzultantce prof. Ing. Janě Seidlerové, CSc. za odborné rady při experimentálních měření.

Tato diplomová práce byla řešena v rámci projektu “Využití redukčních pochodů při pyrometalurgické extrakci kovů z kovonosných odpadů“ SP 2016/132 a projektu č. LO1203 "Regionální materiálově technologické výzkumné centrum – program udržitelnosti“ financovaného Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy České republiky.

ABSTRAKT

Tato diplomová práce je zaměřena na problematiku elektrotechnického a elektronického odpadu, jeho nakládání a recyklaci pomocí hydrometalurgických metod. Pozornost věnuje i platné legislativě v souvislosti s elektrickým a elektronickým odpadem a metodám používaných pro zpracování elektroodpadu, konkrétně mechanické, pyrometalurgické a elektrometalurgické metody. V samostatné kapitole popisuje hydrometalurgické metody a způsoby získávání kovů z roztoků. Také se zabývá ekonomickými a ekologickými aspekty recyklace elektroodpadu. Stěžejní část práce je soustředěna na experimentální měření, v rámci kterých se v laboratorních podmínkách loužily vybrané složky elektroodpadu v kyselinách s následnou analýzou výluhů na zájmové kovy.

Klíčová slova: elektroodpad, recyklace, hydrometalurgie, ekologie

ABSTRACT

This Diploma Thesis is focused on an electrical and electronic waste and its problematic about handling and recycling via hydro-metalurgical methods. There is the consideration given to valid legislation in relation with the electrical and electronic waste and methods used to processing of e-waste namely mechanical, pyro-metalurgical and electro-metalurgical. There are hydro-metalurgical methods and ways for gaining metals from a solution described in a separate chapter. Also it deals with economical and ecological aspects of e-waste recycling. The main part of the thesis is focused on the experimental measurement within that selected components of the e-waste was lixiviated under laboratory conditions in acids with subsequent analysis of leachates for interested metals.

Key words: electronic waste, recycling, hydrometallurgy, ecology

Seznam použitých zkratk

Zkratka	Český název	Anglický název
AAS	Atomová absorpční spektrometrie	Atomic Absorption Spectrometry
EEZ	Elektrická a elektronická zařízení	Electrical and Electronic Equipment
EU	Evropská unie	European Union
DPS	Desky plošných spojů	Printed Circuit Boards
LCA	Analýza životního cyklu	Life Cycle Assessment
LED	Elektroluminiscenční dioda	Light Emitting Diode
OEEZ	Odpadní elektrická a elektronická zařízení	Waste Electrical and Electronic Equipment
OH	Odpadové hospodářství	Waste Holding
PCB	Polychlorované bifenyly	Polychlorinated Biphenyls
PTFE	Polytetrafluorethylen	Polytetrafluorethylene
WEEE	Odpadní elektrická a elektronická zařízení	Waste electrical and electronic equipment
ŽP	Životní prostředí	Environment

Obsah

1	ÚVOD	5
2	VYPRACOVÁNÍ LITERÁRNÍ REŠERŠE Z DOMÁCÍ A ZAHRANIČNÍ LITERATURY K DANÉ PROBLEMATICE	6
2.1	LEGISLATIVA V OBLASTI ELEKTROODPADU	6
2.1.1	<i>Zákon o odpadech č. 185/2001 Sb.</i>	<i>6</i>
2.2	LEGISLATIVNÍ HLEDISKA V ČESKÉ REPUBLICE	7
2.3	LEGISLATIVNÍ HLEDISKA V EVROPĚ A VE SVĚTĚ	11
3	ELEKTROTECHNICKÝ A ELEKTRONICKÝ ODPAD	13
3.1	MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY ELEKTRONICKÉHO ODPADU	14
3.2	DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ	16
4	POPIS ZNÁMÝCH HYDROMETALURGICKÝCH POSTUPŮ PŘI RECYKLACI VYBRANÝCH DRUHŮ ELEKTROODPADU	21
4.1	HYDROMETALURGICKÉ METODY	21
4.1.1	<i>Základní principy kinetiky loužení</i>	<i>24</i>
4.2	ZÍSKÁVÁNÍ KOVŮ Z ROZTOKU	24
4.2.1	<i>Krystalizace</i>	<i>25</i>
4.2.2	<i>Cementace</i>	<i>26</i>
4.2.3	<i>Vylučování kovů z roztoků pomocí plynů</i>	<i>28</i>
4.2.4	<i>Elektrolýza</i>	<i>30</i>
4.2.5	<i>Adsorpce</i>	<i>30</i>
4.2.6	<i>Iontová výměna</i>	<i>31</i>
4.2.7	<i>Kapalinová extrakce</i>	<i>31</i>
5	POSOUZENÍ TECHNOLOGICKÝCH, EKOLOGICKÝCH A EKONOMICKÝCH MOŽNOSTÍ RECYKLACE ELEKTROODPADU	33
5.1	EKOLOGICKÉ A EKONOMICKÉ HLEDISKO RECYKLACE ELEKTROODPADU	34
5.1.1	<i>Recyklační poplatek</i>	<i>35</i>
5.1.2	<i>Výroční ekologická zpráva firmy Apple</i>	<i>36</i>
5.1.3	<i>Analýzy firmy ASEKOL</i>	<i>36</i>
5.2	TECHNOLOGICKÉ MOŽNOSTI RECYKLACE ELEKTROODPADU	40
5.2.1	<i>Mechanické metody</i>	<i>40</i>
5.2.2	<i>Pyrometalurgické metody</i>	<i>42</i>
5.2.3	<i>Elektrometalurgické metody</i>	<i>43</i>

6	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST – HYDROMETALURGICKÉ ZPRACOVÁNÍ A ZISK ZÁJMOVÝCH PRODUKTŮ	44
6.1	HYDROMETALURGICKÉ ZPRACOVÁNÍ ELEKTROODPADU	44
6.1.1	<i>Loužení elektroodpadu v 10% kyselině sírové</i>	<i>46</i>
6.1.2	<i>Loužení elektroodpadu v 10% kyselině dusičné.....</i>	<i>49</i>
6.2	ANALÝZA A ZISK ZÁJMOVÝCH PRODUKTŮ	54
6.2.1	<i>Atomová absorpční spektrometrie.....</i>	<i>54</i>
6.2.2	<i>Analýza získaných výluhů.....</i>	<i>55</i>
6.3	ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ	63
7	ZÁVĚR.....	65
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	66
	SEZNAM PŘÍLOH.....	72

1 Úvod

Tuto diplomovou práci jsem zaměřila na elektrotechnický a elektronický odpad, nakládání s ním a následnou recyklaci, především hydrometalurgickými metodami. Z důvodu neustálého narůstání množství elektroodpadu prostřednictvím vysloužilých elektrozařízení je důležité řešit otázku jeho recyklace v souvislosti s platnou legislativou. Recyklací dojde z hlediska ekologického k poklesu množství tohoto odpadu na skládkách a tím snížení zátěže životního prostředí zabráněním jeho kontaminace. Po ekonomické stránce recyklace představuje úsporu nákladů vynaložených na novou těžbu, získáním opětovně použitelných druhotných surovin a energií.

Cílem mé práce je soustředit se na metody používané ke zpracování elektroodpadu, zejména hydrometalurgické a na způsoby získávání kovů s výluhů.

V prvních kapitolách práce se zabývám legislativou spojenou s elektroodpadem v České republice, Evropě a ve světě. Charakterizuji základní zákony, vyhlášky a směrnice související s předcházením vzniku, opětovným využitím, nakládáním a zneškodňováním odpadu, konkrétně elektroodpadu. Jmenuji vybrané provozovatele systémů zpětného odběru, odděleného sběru a recyklace v České republice a Evropě. Navazuji popisem elektrotechnického a elektronického odpadu, jeho materiálovým složením a desek plošných spojů.

V druhé části práce věnuji pozornost hydrometalurgickým metodám používaných ke zpracování elektroodpadu a způsobům získávání kovů z výluhů. Mezi tyto způsoby jsem zahrnula krystalizaci, cementaci, vylučování kovů z roztoků pomocí plynů, elektrolýzu, adsorpci, iontovou výměnu a kapalinovou extrakci. V další kapitole posuzuji ekologické a ekonomické hlediska recyklace elektroodpadu a zabývám se dalšími metodami zpracování elektroodpadu, konkrétně mechanickými, pyrometalurgickými a elektrometalurgickými.

Experimentální část je věnována hydrometalurgickému zpracování vybraných druhů elektroodpadu s následným získáním zájmových produktů. Vybrané složky elektroodpadu byly louženy v kyselinách a získané výluhy dále analyzovány na zájmové kovy.

V závěru práce uvádím souhrnné zhodnocení výsledků a možná doporučení v oblasti recyklace elektroodpadu, zejména hydrometalurgickými metodami.

2 Vypracování literární rešerše z domácí a zahraniční literatury k dané problematice

V této kapitole se zabývám analýzou platné legislativy z hlediska nakládání s odpadem, konkrétně elektroodpadem. V další kapitole navazuji charakteristikou elektrotechnického a elektronického odpadu.

2.1 Legislativa v oblasti elektroodpadu

V kontextu s nakládáním elektrických a elektronických zařízení (EEZ) je environmentální problematika těchto zařízení v evropské souvislosti řešena směrnicí 2012/19/EU o odpadních elektrických a elektronických zařízeních (OEEZ). Dále tuto problematiku v národní rovině pozměňuje zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů, konkrétně v jeho čtvrté části, dílu 8. V říjnu 2014 vyšla v platnost novela zákona o odpadech č. 184/2014, která mění zákon č. 185/2001 Sb. [1] [2] [3]

K problematice zpětného odběru EEZ jsou stanoveny podrobnosti vyhláškou č. 352/2005 Sb. Vyhláška zahrnuje podrobnosti o nakládání s elektrozařízeními a elektroodpady a o bližších podmínkách financování nakládání s nimi (vyhláška o nakládání s elektrozařízeními a elektroodpady). Tato vyhláška byla pozměněna vyhláškou č. 65/2010, z hlediska využívání a bezpečného zneškodňování odpadů. [1] [4]

2.1.1 Zákon o odpadech č. 185/2001 Sb.

Tento zákon definuje pravidla pro zavádění EEZ na trh, pro zpětný odběr elektrozařízení, oddělený sběr, zpracování a využívání elektroodpadu, pro financování nakládání s elektrozařízeními a elektroodpadem a kromě toho i povinnosti výrobců, posledních prodejců a distributorů. Vyjmenované povinnosti jsou zaměřeny na EEZ, jež nejsou součástí jiného druhu zařízení, na který se výše zmíněný díl 8 zákona nespecializuje. Současně zákon stanovuje jisté povinnosti zpracovatelům OEEZ. [1]

Mezi hlavní ustanovení zákona patří: [5]

- zásady pro prevenci vzniku odpadů a pro nakládání s nimi v rámci dodržování ochrany životního prostředí, ochrany lidského zdraví a trvale udržitelného rozvoje
- práva a povinnosti osob v odpadovém hospodářství (OH)
- kompetence orgánů veřejné správy v OH

2.2 Legislativní hlediska v České republice

Problematicku spojenou s nakládáním s OEEZ v ČR upravují tyto právní předpisy: [3]

- zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů
- vyhláška č. 237/2002 Sb., o podrobnostech způsobu provedení zpětného odběru některých výrobků
- vyhláška č. 352/2005 Sb., o nakládání s elektrozařízeními a elektroodpady

Ministerstvo životního prostředí vyhotovilo rozhodnutí k provozování činnosti kolektivních systémů, v souvislosti se zabezpečením financování a nakládáním s elektrozařízeními a elektroodpady. Tyto systémy zajišťují realizování povinností výrobců zařízení. [1] [6]

Nejvýznamnějšími provozovateli kolektivních systémů jsou: [7]

- ASEKOL a.s.
- EKOLAMP s.r.o.
- ELEKTROWIN a.s.
- OFO – recycling s.r.o.
- REMA Systém, a.s.
- RETELA, s.r.o.

Organizace ASEKOL se zabývá zřizováním celostátního systému zpětného odběru elektrozařízení. Organizace vznikla s cílem efektivního a ekologického nakládání s vysloužilými spotřebiči. Zabezpečuje sběr, dopravu a ekologickou recyklaci vysloužilých elektrospotřebičů včetně financování celého systému. Z výsledků sběru je společnost ASEKOL řazena mezi nejvýznamnější kolektivní systémy v Evropě. [8]

Společnost EKOLAMP se zaměřuje na sběr a recyklaci použitých osvětlovacích zařízení v souladu s legislativou EU a ČR. [9]

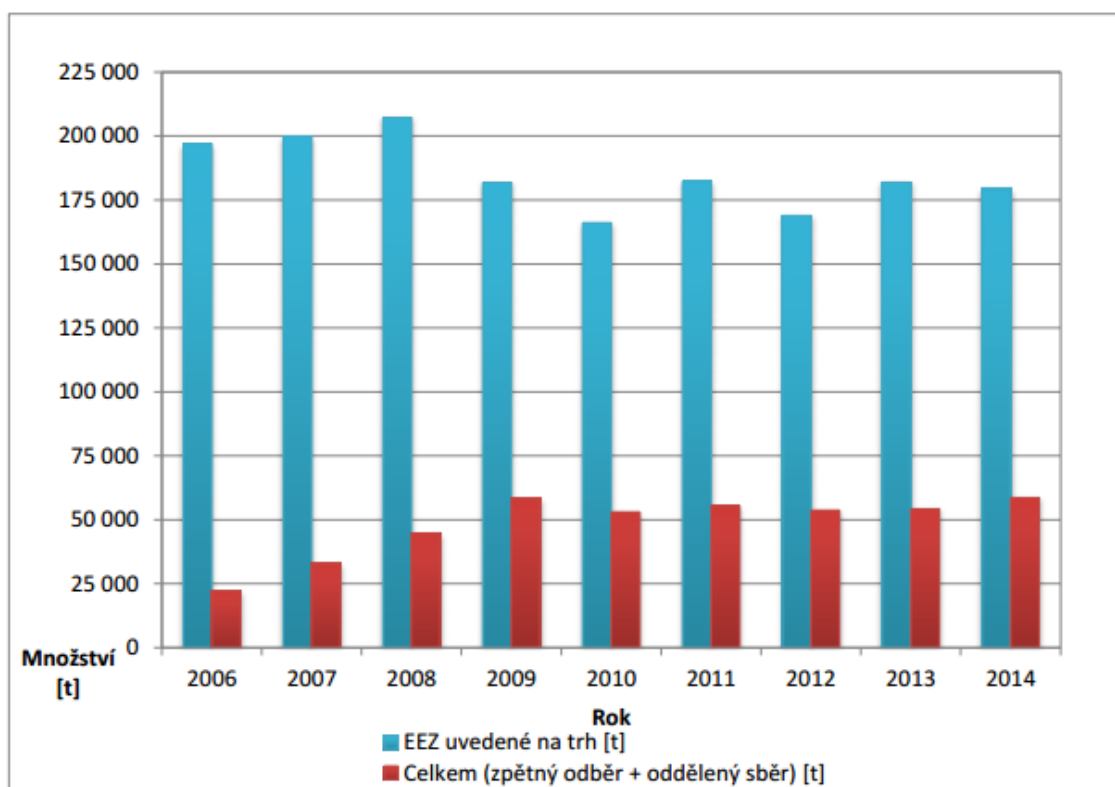
Kolektivní systém ELEKTROWIN a.s. se stará o zajištění sběru, přepravy a ekologickou recyklaci velkých a malých domácích spotřebičů a také elektrického a elektronického nářadí a nástrojů. [6]

REMA Systém, a.s. se soustřeďuje na ochranu životního prostředí zabezpečením efektivní recyklace OEEZ. Záměrem společnosti je zajistit organizaci sběru, třídění, nakládání a recyklaci v celé ČR. V rozsahu své činnosti se REMA Systém orientuje na souhrnné řešení pro všechny skupiny elektrozařízení. [10]

RETELA, s.r.o. zabývající se odděleným sběrem, zpětným odběrem, zpracováním, využitím a odstraněním elektrozařízení a elektroodpadu spolupracuje se zpracovateli splňující technické normy a standardy (opatření vztahující se na ochranu ŽP, lidského zdraví a bezpečnosti), kupříkladu se společností OTAVA electronics a.s., jež se zabývá zpracováním monitorů a televizorů. [11] [12]

K financování zpětného odběru a budoucí recyklaci elektrozařízení využívají kolektivní systémy tzv. recyklační poplatek. Z tohoto poplatku jsou hrazeny náklady na zpětný odběr elektrozařízení, opětovné použití, odbornou recyklaci elektroodpadu a informovanost. [13]

Výsledky zpětného odběru elektrozařízení a odděleného sběru elektroodpadů v rámci kolektivních systémů v ČR v letech 2006 – 2014 jsou zobrazeny na Obr. 2.1. K porovnání je uveden i počet elektrozařízení, které byly uvedeny na trh (v tunách). [3]



Obr. 2.1 Množství elektrozařízení uvedených na trh, výsledky zpětného odběru elektrozařízení a odděleného sběru elektroodpadů v ČR v letech 2006 - 2014 [3]

V souvislosti s recyklací elektronického odpadu, bylo v roce 2001 založeno zájmové sdružení Asociace recyklátorů elektronického odpadu (AREO). Záměrem tohoto sdružení je účast při přípravě legislativy OEEZ, spolupráce s kolektivními systémy s cílem účinného sběru, svozu a zpracování OEEZ. Mezi vybrané členy asociace patří: [14]

- MHM EKO s.r.o.
- PRAKTIK system s.r.o.
- SAFINA, a.s.
- STEELMET, s.r.o.
- Rumpold s.r.o.
- VITARO spol. s.r.o.

Společnost MHM EKO se zabývá výkupem a recyklací elektronického šrotu, kovových neželezných odpadů. Pro zpracováváné odpady zajišťují demontáž, odvoz a následné ekologické odstranění. [15]

PRAKTIK system s.r.o. se zaměřuje na zpracování vyřazených chladících a jiných EEZ. Současně se zabývá vlastním vývojem technologií na recyklaci EEZ. Mezi technologie využívajících ke zpracování patří třídění, drcení materiálů, přepracování a separaci plastů, železných a neželezných kovů. [16] [17]

SAFINA, a.s. poskytuje služby v rámci komplexního zpracování materiálů a odpadů s obsahem drahých kovů. Zpracování předchází primární předúprava a homogenizace materiálu s následnou rafinací kovu využitím environmentálně šetrných technologií. [18]

Společnost STEELMET je oprávněna ke sběru, výkupu, úpravě a zpracování elektroodpadu. Zabývá se zpracováním všech druhů elektroodpadu vzniklých v domácnostech, firmách a úřadech s výjimkou světelných zdrojů a chlazení. Využívá technologie, jež jsou neustále doplňovány a modernizovány. [19]

Rumpold s.r.o. se zaměřuje na spolehlivý a účinný způsob recyklace vysloužilých elektrozařízení. K oddělení cenné suroviny od škodlivých a nebezpečných látek využívají zvláštní technologie. Likvidaci nebezpečných látek (odpadů) provádějí na vlastních zařízeních a tříděním cenných surovin dochází k jejich navrácení zpět do průmyslu k následujícímu využití. Mimořádnou nabídkou společnosti je recyklace elektrošrotu, spolu se znovuzhodnocením skla z TV obrazovek a recyklace chladících zařízení obsahující freony prostřednictvím jedinečné mobilní technologie. Značnou vehementností této společnosti je materiálové a energetické využití odpadů. [20] [21]

VITARO spol. s.r.o. je soudobá moderní obchodně-výrobní organizace, která poskytuje služby v rámci výkupu, prodeje a zpracování materiálů obsahující drahé kovy. Je držitelem technologického zázemí na recyklaci odpadu obsahujícího drahé kovy, elektrotechnického a elektronického odpadu a dalších. [22]

V loňském roce byl společností ENVIROPOL v Jihlavě nově zahájen provoz technologicky nejpokrokovějšího závodu na zpracování elektroodpadu v Evropě. Nově vybudovaná linka na zpracování EEZ se zaměřuje na malé domácí spotřebiče a také poskytuje bezpečnou mechanickou likvidaci pevných disků. [23] [24]

2.3 Legislativní hlediska v Evropě a ve světě

Evropská unie je ve spojitosti s odpadovou problematikou spravována právními předpisy, jež jsou platné pro všechny členské státy. Směrnice 2012/9 EU Evropského parlamentu a Rady o odpadních elektrických a elektronických zařízeních (OEEZ) vyšla v platnost v roce 2012 po revizi směrnice 2002/96 EC o OEEZ. Záměrem této směrnice je předcházení vzniku OEEZ, jejich opětovné použití, recyklace a další způsoby využívání s úmyslem snížit množství odpadu vymezeného k odstranění. [9] [25] [26] [27]

V roce 2002 vznikla evropská nezisková asociace WEEE Forum, která spojuje kolektivní systémy pro zpětný odběr elektrozařízení. Jejimi zakladateli jsou kolektivní systémy z Belgie, Nizozemí, Norska, Rakouska, Švédska a Švýcarska. V současnosti spojuje 32 evropských kolektivních systémů. Cílem této asociace je shromažďovat, třídit a poskytovat informace dílčím členům s úmyslem jejich zlepšování a správného rozhodování. Vzájemné předávání a výměna znalostí prostřednictvím kolektivních systémů nese podíl na vývoji společnosti a zkvalitnění služeb. [28] [29]

V evropském měřítku význam WEEE Fora roste a je významným původcem informací jak pro své členy, tak i pro výrobce, jejich sdružení a orgány EU. [30]

Společnosti zabývající se sběrem, tříděním a následnou recyklací osvětlovacích zařízení v rámci spolupráce s WEEE jsou: [29]

- Ekolamp (Slovensko)
- Recolight (Velká Británie)
- Lightcycle (Německo)
- Recolamp (Rumunsko)
- Ecolamp (Itálie)
- LightRec (Nizozemí)
- ElektroEko (Polsko)

Společnost Enviropol se sídlem na Slovensku a v Polsku se zaměřuje na efektivní zpracování elektroodpadu s cílem dalšího materiálového využití. Organizace je orientována na sběr, třídění a zpracování elektroodpadu, obzvláště na demontáž vysloužilých elektrozařízení všech kategorií. [8] [31]

Neziskově hospodařící organizace ASEKOL SK se zabývá organizací a financováním celostátního systému sběru, dopravy, zpracování elektroodpadu a použitých přenosných baterií a akumulátorů v zastoupení výrobců a dovozců elektrozařízení. Tato společnost je na slovenském trhu v současné době největší kolektivní organizací pro baterie a akumulátory. [8]

ASEKOL PL je společnost organizující celostátní systém zpětného odběru elektrozařízení. Zabezpečuje sběr, dopravu a recyklaci vysloužilých elektrospotřebičů spolu s financováním celého systému. [8]

3 Elektrotechnický a elektronický odpad

Elektrotechnický a elektronický odpad je tvořený ze směsi různých kovů, plastů a keramiky. Složení elektroodpadu je mnohdy obtížné určit, poněvadž zaznamenáváme převratné změny jak v technologiích, tak i ve volbě materiálu v tomto výrobním odvětví. Díky rychlému rozvoji elektroniky se již naprosto funkční zařízení při uvedení do prodeje stávají zastaralými, a to nejen elektronické výrobky, ale i produkty například strojírenského průmyslu, zejména čerpadla s elektrickým pohonem, elektroinstalace osobních a nákladních automobilů, tramvají, letadel, telefonní a bankovní automaty a další zařízení. [32] [33]

Mezi elektroodpad zahrnujeme zejména vyřazené výrobky, jejich části a moduly obsahující elektronické součástky. Radíme zde např. kancelářskou techniku, spotřební elektroniku pro volný čas, elektrická zařízení pro domácnost, malé domácí spotřebiče a další. [34]

Elektroodpad, částečně patřící do nebezpečného odpadu, z hlediska obsahu toxických složek požaduje zvýšenou pozornost, obzvláště kondenzátory s obsahem PCB, baterie a desky s plošnými spoji. [34]

Míra tohoto odpadu ročně stoupá o 3 až 5%, což je téměř třikrát rychleji oproti celkovému objemu odpadu. V EU vyprodukují obyvatelé okolo 8 mil. t elektroodpadu ročně. [35] [36]

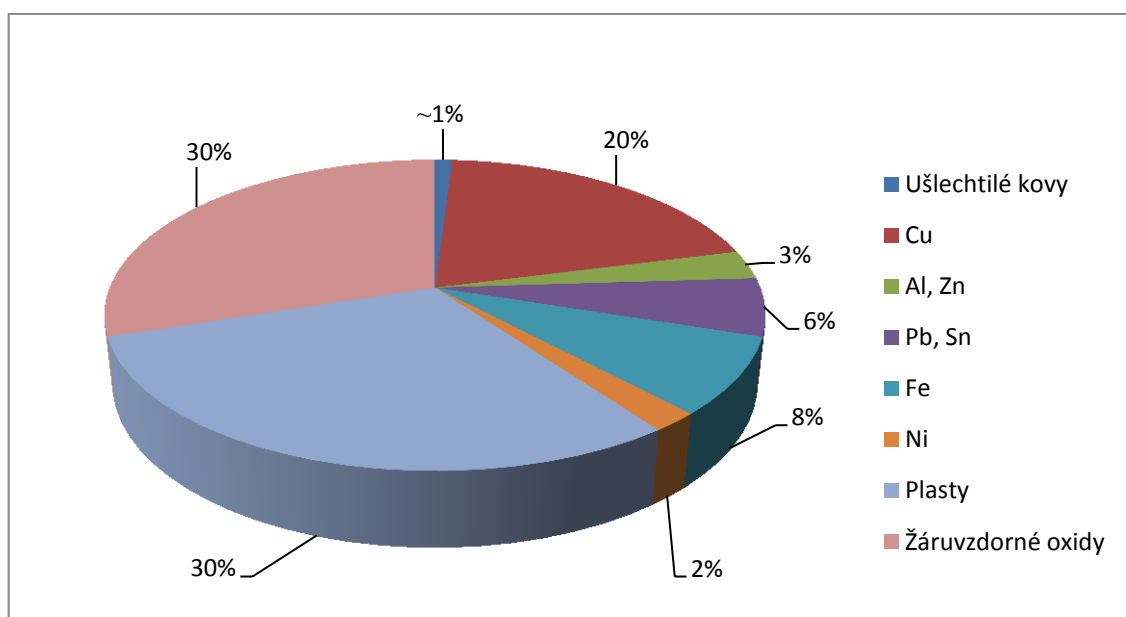
V roce 2014 svět statisticky vyprodukoval takřka 42 mil. t elektroodpadu. Největší část představovali ledničky, pračky a jiné. Minoritní část byla zastoupena telefony, kalkulačkami, počítači a dalšími. V *Tab. 3.1* je vyjádřena produkce elektroodpadu ve vybraných státech světa za rok 2014. [37]

Tab. 3.1 Produkce elektroodpadu ve světě v roce 2014 [37]

Země	Množství vyprodukovaného elektroodpadu za rok (t)	Země	Množství vyprodukovaného elektroodpadu za rok (t)
Spojené státy Americké	7 072 000	Kanada	725 000
Čína	6 033 000	Turecko	503 000
Japonsko	2 200 000	Austrálie	468 000
Německo	1 769 000	Polsko	397 000
Velká Británie	1 511 000	Saudská Arábie	379 000
Francie	1 419 000	Švédsko	215 000
Brazílie	1 412 000	Česká republika	157 000
Rusko	1 231 000	Slovensko	62 000
Itálie	1 077 000	Island	9 000
Indonésie	745 000	Mongolsko	5 000

3.1 Materiálové charakteristiky elektronického odpadu

Elektronický odpad se skládá zejména z plastů, žáruvzdorných oxidů a kovů. Plastová složka elektroodpadu je vyrobena z velké části organických polymerů, mezi které zahrnujeme polyvinylchlorid, polyethylen, polypropylen, polyester a jiné. Tyto plasty jsou obvykle modifikovány přísadami zpomalující hoření. SiO_2 , Al_2O_3 a oxidy alkalických zemin jsou významnou složkou žáruvzdorných oxidů. Kovy obsažené v tomto odpadu dělíme na základní a ušlechtilé kovy. Mezi základní kovy představující 39% odpadu řadíme Cu (20%), Fe (8%), Ni (2%), Sn (4%), Pb (2%), Al (2%) a Zn (1%). Ušlechtilé kovy zastupují Au (0,1%), Ag (0,2%), a Pd (0,005%). Na Obr. 3.1 je zobrazeno grafické procentuální složení elektroodpadu. [32] [38]



Obr. 3.1 Složení elektroodpadu [32]

Mezi faktory ovlivňující materiálové složení elektroodpadu lze zahrnout druh výrobků, zemi původu, výrobce, velikost zařízení, rok výroby a rovněž použité analytické metody. Tyto hodnoty neobsahují časový faktor. V Tab. 3.2 uvádím materiálové složení některých elektronických jednotek. [32]

Tab. 3.2 Průměrné materiálové složení elektronických jednotek [32]

Elektronická jednotka	Železo a jeho slitiny	Neželezné kovy	Plasty	Sklo	Elektro součástky	Ostatní
	[hm. %]					
Osobní počítače	32	18	23	15	12	-
Televizní přijímače	9,9	3	9,5	56,9	8	12,7
Zesilovače	62,2	20,7	1,6	-	15,5	-
Autorádia	52	8,3	6,9	-	31	1,8
Reproduktory	2,5	2,5	31	-	1,5	62,5
Sluchátka	23,8	23,8	42,9	-	7,1	2,4
Videorekordéry	50	12,6	22,6	-	7,2	7,6

K zájmovým složkám elektroodpadu, které uvádím v *Tab. 3.3*, lze přiřadit železný šrot, neželezné kovy, ušlechtilé kovy a toxické kovy a složky. [32]

Tab. 3.3 Zájmové složky elektroodpadu [32]

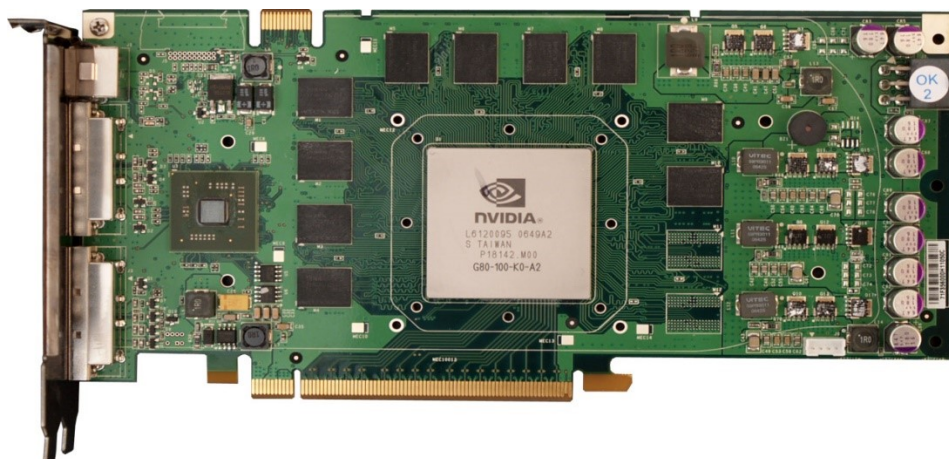
Složky elektroodpadu	Elektroodpad	Zájmové kovy
Železný šrot	Sporáky, vařiče, pračky, ledničky	Fe
Neželezné kovy	Elektronický odpad	Al, Cu, Sn
Ušlechtilé kovy	Desky plošných spojů	Au, Ag, Pt
Toxické kovy a složky	Výbojky, laptopy, počítače s klasickými obrazovkami, baterie, plasty	Hg, Pb, Cd, samozhášecí přísady

V současné době je stále více věnována pozornost složkám elektroodpadu obsahujícím vysoce rizikové kovy a jejich sloučeniny, jako jsou olovo, kadmium a rtuť. Ostatní kovy a jejich sloučeniny, které ohrožují životní prostředí, jsou antimon, arsen, beryllium, selen a chrom. [32]

Dalšími problematickými složkami elektroodpadu jsou bromované samozhášecí přísady obsažené v plastech a deskách plošných spojů. [32]

3.2 Desky plošných spojů

Desky plošných spojů (DPS), *Obr. 3.2*, patří k častým a obtížně demontovatelným prvkům elektroodpadu. Jejich materiálové složení je obtížné určit, jelikož se skládají z mnoha látek. Obsahují často také látky toxické, jako je olovo a halogenidy, které se využívají při jejich výrobě. Mezi základní materiály pro výrobu DPS patří fenolitický papír, polyimid, epoxidová pryskyřice a PTFE (polytetrafluorethylen-teflon). Důležitá kritéria, které je potřeba při výrobě sledovat a dodržet, jsou dána v souvislosti s využitím materiálu ve finálním výrobku. Lze mezi tyto kritéria zařadit samozhášivost, kdy u desek nesmí dojít ke vznícení, způsobnost desky plošného spoje přenést vysoké frekvence a nízká teplotní roztažnost v důsledku změn teplot. [28] [33] [32]



Obr. 3.2 Deska plošných spojů [39]

Značný důraz je kladen i na konečný povrch DPS. Mezi dva podstatné požadavky řadíme dobrou smáčitelost pájecích ploch pro součástky, i přes delší skladování těchto desek a pokrytí plošných vodičů nanovrstvou ušlechtilých kovů, které zabrání korozi a případným zkratům (při pájení). [28]

Elektronické přístroje obsahující DPS jsou nebezpečné zejména díky obsahu olova (v pájce), bromovaných samozhášecích přísad (5-10hm.%) a oxidu antimonického, který je používán rovněž jako samozhášecí přísada. Vzhledem k obsahu škodlivých látek, se vyvíjí a mění výrobní technologie, k dosažení částečného nebo úplnému nahrazení těchto látek šetrnějšími k životnímu prostředí. [32]

Součástí DPS jsou ohnivzdorné epoxydické plastové hmoty, které jsou proloženy měděnými elektrickými obvody. Mezi významné součástky, které desky rovněž obsahují, patří polovodičové čipy, rezistory, PCB kondenzátory. Tyto součástky jsou většinou taktéž spojeny s měděným obvodem značně jakostními pájkami. Konektory, jejichž podstatnou eventuelní složku pro následující použití a recyklaci představuje zlato a platinové kovy, slouží ke zprostředkování kontaktu s dalšími deskami nebo elektronickými moduly. [32]

Při zpracování elektroodpadu jsou DPS skládající se z inertních minerálních látek, plastů a kovů důležitými složkami. V *Tab. 3.4* uvádím jejich materiálové složení. Zneškodnění částí obsahující nebezpečné látky předchází recyklaci desek a poté následuje mechanické, pyrometalurgické nebo hydrometalurgické zpracování. [32]

Tab. 3.4 Materiálové zastoupení desek plošných spojů [40]

Složka	Obsah [%]
Nekovová část (plasty, sklo)	> 70
Spoje	4
Cu	16
Fe	3
Ni	2
Ag	0,05
Au	0,03
Pd	0,01
Ostatní	< 0,01

Chemické složení DPS u vybraných typů zařízení (počítač, televizory, mobilní telefony a jiné) jsou uvedeny v Tab. 3.5. Toto složení poukazuje, že složení desek značně závisí na zařízeních, pro které jsou používány. [40]

Tab. 3.5 Chemické složení různých zařízení [40]

Druh materiálu	Obsah [%]					Obsah [ppm]		
	Fe	Cu	Al	Pb	Ni	Ag	Au	Pd
PC	20	7	14	6	0,85	189	16	3
Desky z PC	7	20	5	1,5	1	1000	250	110
Základové desky z PC	4,5	14,3	208	2,2	1,1	639	566	124
Desky z TV	28	10	10	1	0,3	280	20	10
Mobilní telefony	5	13	1	0,3	0,1	1380	350	210
Hi-fi zařízení	23	21	1	0,14	0,03	150	10	4
DVD zařízení	62	5	2	0,3	0,05	115	15	4

K porovnání je v Tab. 3.6 vyjádřeno složení počítače a jeho částí, měděná ruda (z důvodu obsahu mědi v DPS) a ostatní rudy. [40]

Tab. 3.6 Porovnání složení desek plošných spojů s obsahem kovů v rudách [40]

Kov	Obsah [%]				
	Osobní počítač	Klávesnice	Základní deska	Rudy	Měděná ruda
Au	0,001	0,005	0,008	0,0007	0,00001
Ag	0,009	0,05	0,3	0,0005	0,00034
Pd	0,0004	0,0002	0,029	0,0002	0,04
Cu	7	13	25	< 1	< 1
Pb	1,5	0,3	3	0,5 - 15	-
Ni	0,2	0,6	0,5	5	-
Sn	1,01	2	4	1	-

Hlavní odlišností mezi rudou a odpady je forma přítomnosti prvků. Jako sloučeniny se většinou kovy nacházejí v rudách, v podobě elementární, jako jsou čisté kovy nebo slitiny, se vyskytují v DPS. [40]

Z výše uvedených údajů vyplývá, že v DPS jsou soustřeďovány kovy, jako je zlato, stříbro, měď, cín a další, což je činí z kvalitativní a kvantitativní stránky cennými druhotnými surovinami. Obsah těchto kovů je v porovnání s primární surovinou značně vyšší. Tento obsah spolu s cenou kovů je významným a stanovujícím hlediskem pro zpracování DPS. [40]

DPS lze zpracovávat využitím pyrometalurgických, hydrometalurgických metod nebo jejich kombinací. Tyto procesy jsou doprovázeny mechanicko-fyzikálními předúpravami, jako je drcení, mletí, třídění a separace nebo tepelnými předúpravami, mezi které můžeme zahrnout pyrolýzu a spalování. [40]

Zpracování DPS pyrometalurgickými metodami se uskutečňuje v obloukové, šachtové a plazmové peci, případně v jiných tavicích zařízeních. Tyto soupravy se využívají při výrobě

mědi a olova. Při tavení slouží měď a olovo jako kolektory ušlechtilých kovů, v nichž se tyto kovy rozpouští. Následně se kovy z mědi získávají z anodových kalů, které vzniknou při její výrobě elektrolytickou rafinací. Z olova lze získat ušlechtilé kovy pyrometalurgickou rafinací olova, pochodem nazývaným parkesování. [40]

Hydrometalurgickému zpracování vodivých desek předchází drcení nebo spálení. Za pomoci provzdušněného roztoku alkalického kyanidu se uskutečňuje loužení s cílem rozpuštění ušlechtilých kovů. Následuje separace nasyceného výluhu od tuhého zbytku a další zpracování na zlato a platinové kovy. Velkým nedostatkem kyanidového loužení, stejně jako i spalování, je toxikologické riziko při zpracování desek plošných spojů. Prevencí vůči vznikajícímu riziku, zvláště u spalování, je instalace systému kontroly emisí do pecí sloužících pro spalování, kdy tyto kontroly obsahují například venturiho pračky, pračky kyselých plynů, pytlkové filtry a kouřové plyny je potřeba analyzovat na obsah kovů a dioxinů. [32]

V příloze P-I/1 je umístěno schéma mechanického zpracování odpadu desek plošných spojů.

4 Popis známých hydrometalurgických postupů při recyklaci vybraných druhů elektroodpadu

V této kapitole věnuji pozornost hydrometalurgickému zpracování elektroodpadu a metodám využívaných k získávání kovů z výluhu.

4.1 Hydrometalurgické metody

Hydrometalurgie je vědní obor zabývající se získáváním neboli extrakcí kovů, solí nebo jiných sloučenin z jejich surovin mokrou cestou pomocí vodných roztoků a chemických reakcí. [41]

Cílem těchto metod je úprava vstupních surovin a využitím účinného loužicího činidla lze hydrometalurgicky zpracovávat elektroodpad loužením. [32]

Hydrometalurgické pochody se uskutečňují v rozsahu teplot od 25 do 250°C a celkový tlak se může pohybovat od několika kPa až do výše 5000 kPa. Mezi základní kroky hydrometalurgie patří převedení kovu nebo kovů z rudy nebo koncentrátu do roztoku a selektivní získávání kovů z roztoku využitím srážecích metod nebo kapalinové extrakce. [41]

Loužení probíhá s využitím vhodného loužicího činidla, kdy jeho volba závisí na faktorech, mezi které lze zahrnout: [32] [42]

- chemické a fyzikální opodstatnění
- cenu činidla
- korozní působení na aparaturu

Výluh, produkt loužení, se dále zpracovává na kov, chemický koncentrát a zvláštními způsoby se zpracovávají výluhy s vyšší koncentrací kovu. Při zpracování výluhů na kov lze využít metody jako je tlaková redukce, cementace a elektrolýza výluhu. Pomocí metod jako je chemické srážení, krystalizace, hydrolýza a destilační srážení se zpracovává čistý výluh na chemický koncentrát. Čisté výluhy, u nichž se jedná o zvýšení zájmového kovu obohacením, se zpracovávají specifickými způsoby, mezi které lze zařadit adsorpci, iontovou

výměnu a extrakci. Následné zkoncentrované výluhy se dále zpracovávají na kov výše uvedenými postupy. [32]

Mezi výhody hydrometalurgie lze zahrnout: [42]

- z chudých a nesnadno koncentrovatelných surovin získá vysoko efektivních kovů
- kompletní zpracování surovin
- ekonomická účinnost v rámci používání sorpčních a extrakčních metod jak získávání, tak i koncentrování a rozdělování kovů
- výkonná kontrola kontaminace životního prostředí a vhodnější pracovní podmínky (nižší prašnost, nízké teploty)

Schéma hydrometalurgického zpracování dokládám v příloze P-II/1.

V Tab. 4.1 uvádím porovnání charakteristik z pohledu výhod a nevýhod pyrometalurgických a hydrometalurgických procesů. [41]

Tab. 4.1 Porovnání vybraných charakteristik pyrometalurgických a hydrometalurgických procesů [41]

Proces	Pyrometalurgie	Hydrometalurgie
Environmentální znečištění	problémy s prachem, plyny a hlukem	žádné atmosférické znečištění, problémy s odpadními vodami
Separace čistých složek	neuskutečnitelný	uskutečnitelný
Reakční rychlost	vlivem vyšší teploty vysoká	vlivem nízké teploty pomalá
Průchod materiálu	značně vysoký kusový průchod	pro kusovou výrobu malý průchod
Manipulace s materiálem	s tekutými kovy, struskami a kamínkami relativně problematická	snadná doprava roztoků a kalů potrubím
Tuhé zbytky	mnoho zbytků, následné uskladnění na haldách	převážná část v jemné formě – znečištění prostředí
Toxické plyny	regenerace toxických plynů procesy	nízká regenerace plynů
Vsázka	nehomogenní vsázka	homogenní vsázka
Provozní vlastnost	technika není komplexní	složitá technologie, komplexní technika; obtížná kontrola a řízení
Ekonomika procesu	více ekonomičtější	méně ekonomičtější

Výše uvedené výhody a nevýhody porovnávaných metod jsou závislé na druhu zpracovávaného odpadu a na úhlu pohledu.

4.1.1 Základní principy kinetiky loužení

Loužení je heterogenní proces, v němž se podílejí a vzájemně působí dvě fáze – tuhá a kapalná. Rychlost přecházejících látek do roztoku za jednotku času je podmíněna koncentrací (reagentů), teplotou, rychlostí mísení a povrchem tuhé fáze. Rychlost loužení je rovněž ovlivněna rozměrem zrn, čím menší částice, tím dochází k narůstání rychlosti. [42]

V průběhu procesu loužení většinou dochází ke změně rychlosti, která lze vyjádřit vztahem: [42]

$$\frac{dG}{d\tau} = -j \cdot S \quad (4.1)$$

kde je G množství loužené látky v tuhé fázi

j množství loužené látky, které přešlo do roztoku za jednotku času τ ,
z jednotkového povrchu tuhé fáze (měrná rychlost loužení)

S povrch, na kterém se uskutečňuje loužení

Loužení je nejčastěji složeno z následujících etap: [42]

- přenos reagujících látek z roztoku k povrchu reakce
- chemická reakce
- přenos rozpustitelných produktů reakce z povrchu do roztoku

4.2 Získávání kovů z roztoku

Vhodným loužicím činidlem lze v procesu loužení převést žádaný kov do roztoku a zároveň ostatní prvky koncentrovat do nerozpustného zbytku, který je možno po úpravách zpracovávat pyrometalurgickými metodami. [41]

Způsoby získávání kovů z vodných roztoků rozdělujeme na základní a zvláštní způsoby. [42]

Základní skupinu tvoří: [42]

- krystalizace
- cementace – vylučování kovů s využitím jiného kovu
- vylučování kovů z roztoků pomocí plynů
- elektrolýza

Zvláštní skupinu představuje: [42]

- adsorpce
- iontová výměna
- kapalinová extrakce

4.2.1 Krystalizace

Krystalizace se v hydrometalurgii používá k vyloučení kovů ve formě čistých solí, solí k oddělení prvků s obdobnými vlastnostmi s využitím metody opakované krystalizace, pro čištění roztoků aj. Krystalizace vzniká při ochlazování nasyceného roztoku nebo při odpařování rozpouštědla a proces lze rozčlenit na etapy: [42]

- tvorba přesyceného roztoku
- tvorba krystalizačních zárodků – center
- růst krystalů
- překrystalizace

Rozlišujeme izotermickou a izohydrickou krystalizaci. Izotermická krystalizace probíhá při konstantní teplotě a odpařováním nebo jiným způsobem odstranění roztoku dojde ke vzniku přesyceného roztoku. Izohydrická krystalizace nastává při ochlazení roztoku a v závislosti na teplotě se mění rozpustnost soli v roztoku. S klesající teplotou tato rozpustnost rychle klesá. [41] [42]

K odpařování rozpouštědla dochází za nižších teplot, buď pod bodem varu anebo za jeho varu. Po překročení stanovené hodnoty přesycení při ochlazování nasyceného roztoku dojde ke vzniku krystalizačních zárodků. Následně dochází v důsledku uvolněního krystalizačního tepla k opětovnému rozpouštění po seskupení nejmenších částic do větších

celků. Stabilizace těchto celků nastane až po překročení určité velikosti. Existence cizích tuhých částic značně působí na vznik krystalizačních zárodků. Proces vnášení cizích částic do roztoku se nazývá očkování. Očkovat přesycený roztok lze nikoli jen drobnými krystalky vlastní látky, ale i zcela cizími částicemi, jako je prach, koloidy apod. Vlivem sorpcí iontů roztoku dochází k působení těchto částic, díky čemu se zvyšuje koncentrace a možnost vytvoření stabilních shluků. Postup růstu krystalu z krystalizačního zárodku zahrnuje tyto etapy: [42]

- přívod částic z okolního roztoku k adsorpční vrstvě
- pohyb částic v adsorpční vrstvě
- zařazení částice do krystalové mřížky

Z hlediska kinetiky vymezuje krystalizaci nejpomaleji probíhající se děj. Značný účinek má na velikost krystalů zejména počet krystalizačních zárodků – center a rychlost difuze. Rychlost ochlazování, intenzita míchání, koncentrace roztoku a jeho čistota jsou faktory ovlivňující počet krystalizačních center. V roztoku obsahujícím zároveň více látek, může dojít ke krystalizaci pouze jedné z nich a ostatní setrvávají v roztoku. Z toho vyplývá, že tento pochod se uskutečňuje na základě rozdílné rozpustnosti látek v roztoku a je známý pod názvem frakční destilace. [42]

4.2.2 Cementace

Principem cementace je vytěšňování kovů z roztoku na základě elektrochemické reakce mezi kovem použitým jako cementátor a ionty vylučovaného kovu. Proces je založen na vytěšňování ušlechtlejší kovu z roztoku jeho solí s využitím méně ušlechtilého kovu, u něhož v průběhu děje dojde k rozpuštění. Vlivem rozdílných hodnot osmotického a rozpouštěcího tlaku se uskutečňuje rozpouštění méně ušlechtilého kovu a srážení ušlechtlejšího. [41] [42]

Obecnou cementační reakci je možno zapsat jako: [41]



Během vylučování kovu dochází v roztoku ke změnám koncentrace a hodnot potenciálu. Ukončení procesu nastane po docílení rovnovážných hodnot: [41] [42]

$$E_{Me2} = E_{Me1} \quad (4.3)$$

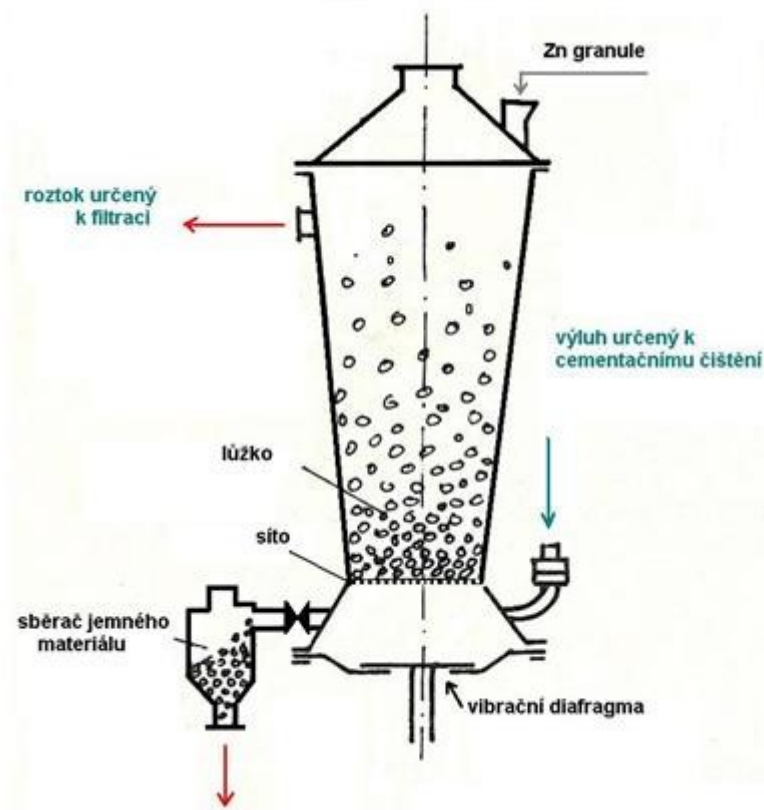
Rychlost procesu cementace je ovlivněna vytvořeným rozdílem potenciálu, který závisí na velikostech rozdílu standardních potenciálů účastnících se kovů a na hodnotách aktivit iontů v roztoku. Tento proces bude probíhat rychleji s narůstající hodnotou tohoto rozdílu. Průběh cementace v rámci termodynamiky se určí vzájemným poměrem elektrodových potenciálů. Elektrodový potenciál vytěšňujícího kovu musí mít v porovnání s vytěšňovaným kovem zápornější elektrodový potenciál: [42]

$$E_{Me2} < E_{Me1} \quad (4.4)$$

Cementace je doprovázena sérií vedlejších reakcí nazývaných parazitními. V jejím průběhu může za určitých podmínek dojít k vylučování vodíku a na katodových částicích k redukci rozpuštěného kyslíku. Z toho vyplývá, že vedlejší reakce znamenají zřetelné ztráty cementovaného kovu s následkem opakovaného rozpouštění vyloučeného kovu. [42]

Čistota vycementovaného kovu je ovlivněna obsahem ušlechtilých kovů, s nimiž může docházet ke srážení. Z tohoto důvodu se provádí tzv. selektivní cementace, u které dojde nejdříve k vysrážení nejušlechtlejších kovů pomocí dopředu vypočteného přídatku cementujícího kovu a po jejich separaci se vysrážejí méně ušlechtilých kovů. [42]

Na *Obr. 4.1* je znázorněn pulzační cementační přístroj.



Obr. 4.1 Pulzační cementační přístroj [43]

4.2.3 Vylučování kovů z roztoků pomocí plynů

Způsob získávání kovů tímto procesem je založen na jejich vylučování z roztoku pomocí plynů za vyšších teplot a tlaků, přičemž: [42]

- rozpustnost převážné části solí ve vodě s narůstající teplotou stoupá, až do teplot 120 – 150 °C a při dalším zvýšení teploty dojde ke snížení rozpustnosti
- rozpustnost solí ve vodě je obzvláště závislá na výskytu solí
- rozpustnost plynů ve vodě se snižuje spolu se zvyšující se teplotou, zhruba do 100°C, a dalším zvýšením teploty dojde ke vzrůstu
- rozpustnost plynů zpravidla omezuje přítomnost solí
- za vyšších teplot dochází ke snadnému průběhu hydrolýzy

Redukce vodíkem

Na kationtu kovu probíhá reakce:



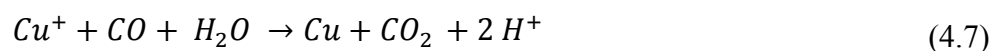
za předpokladu, že potenciál vodíku je menší než elektrodový potenciál kovu:

$$\varphi_{H_2} < \varphi_{Me} \quad (4.6)$$

K ukončení vylučování dojde po dosažení rovnováhy. [42]

Redukce oxidem uhelnatým

Z prostředí kyseliny sírové lze redukcí CO vyloučit měď. [42]

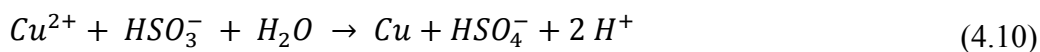


Redukční účinnost CO závisí na změně Gibbsovy molární energie reakce: [42]



Vylučování oxidem siřičitým

Oxid siřičitý má schopnost z prostředí kyseliny sírové při okolní teplotě vyloučit siřičitan měďnatý. V případě, že se proces uskutečňuje při teplotě 100°C a tlaku 0,34 MPa, dochází k vyloučení kovové mědi. [42]



4.2.4 Elektrolýza

Z vodných roztoků lze kovy získat s využitím elektrolýzy, eventuálně elektrolyticky rafinovat od obsahujících nečistot. [41]

V průběhu elektrolýzy dochází v roztoku elektrolytu k chemickým změnám z důvodu přiváděného stejnosměrného proudu z vnějšího zdroje, a proto je označována jako elektrochemický děj. [42]

Srážecí neboli extrakční elektrolýza je jedním z typů elektrolýzních dějů, který umožňuje získávání kovů z roztoků využitím nerozpustných elektrod. [44]

Průběh elektrolýzy podrobněji popisují v *kap. 5* včetně obrázku znázorňujícího tento proces.

4.2.5 Adsorpce

Proces zvaný adsorpce se skládá ze dvou etap. První etapa zahrnuje vlastní adsorpci a druhá vyloučení kovů z adsorbentu neboli desorpci. [42]

S tímto způsobem získávání kovů souvisí jev označován jako sorpce. Představuje schopnost některých látek zachycovat na vlastním povrchu plyny nebo kapaliny. Větších hodnot sorpce nastává u pórovitých nebo jemně dispergovaných látek, z důvodu závislosti na velikosti povrchu sorbentu. Pro použití v praxi slouží dřevěné uhlí, jemnozrnné oxidy a hydroxidy nebo látky koloidní povahy. [42]

V dnešní době se adsorpce používá k získávání kovů ze zředěných chloridových roztoků za přítomnosti aktivovaného uhlí, především platiny, paladia a osmia, zlata a stříbra z kyanidových roztoků a rovněž k selektivnímu získávání rhenia a molybdenu z roztoku kyselin. S využitím způsobilosti sorpčních procesů dochází k čištění výluhu od arsenu a antimonu nebo od koloidní síry před elektrolýzou pomocí nově sraženého $\text{Al}(\text{OH})_3$. [42]

Aktivací vzduchem, chlorem nebo s vodní párou vzniká aktivované uhlí a při teplotách 400 – 800 °C dochází ke zvýšení pórovitosti materiálu. [42]

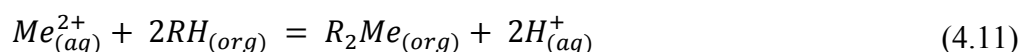
4.2.6 Iontová výměna

Schopnost mnohých látek při kontaktu s roztoky pohlcovat ionty z roztoku výměnou za ionty téhož znaménka, jenž přechází do roztoku, je podstatou iontové výměny. Látky vyznačující se touto schopností se nazývají iontoměniče. Měníče iontů (ionexy) jsou makromolekulární tuhé látky nerozpustného charakteru, obsahující aktivní skupiny, způsobilé výměny iontů s ionty rozpuštěných elektrolytů. Iontoměniče se z hlediska a podstaty dělí na minerální (anorganické) a organické iontoměniče. Obě skupiny mohou být přirozené a i uměle připravené. Rozlišujeme katexy a anexy, v souvislosti s výměnou kationtů nebo aniontů. Ionexy slouží v hydrometalurgii obzvláště k sorpci kovů z velmi zředěných roztoků, výluhů s nízkým obsahem kovů a k separaci chemicky příbuzných kovů apod. [42]

V porovnání s kapalinou extrakcí, je iontová výměna dražší pro roztoky s obsahem vyšším než 1g/l získávaných iontů. Oproti tomu, je výhodnější pro získávání prvků, jako je zlato, popřípadě uran z roztoků s obsahem iontů kovu přibližně 0,1g/l. [41]

4.2.7 Kapalinová extrakce

S využitím kapalinové extrakce dochází k výměně iontů v kapalně fázi, což představuje účinný způsob pro čištění a koncentraci iontů do roztoku. Ten může být dále elektrolyticky zpracováván. Výměnný průběh procesu charakterizuje rovnice: [41]



Tato rovnice představuje výměnu iontů H^+ s ionty kovovými, kdy koncentrace vodíkových iontů zajistí rovnovážný stav. [41]

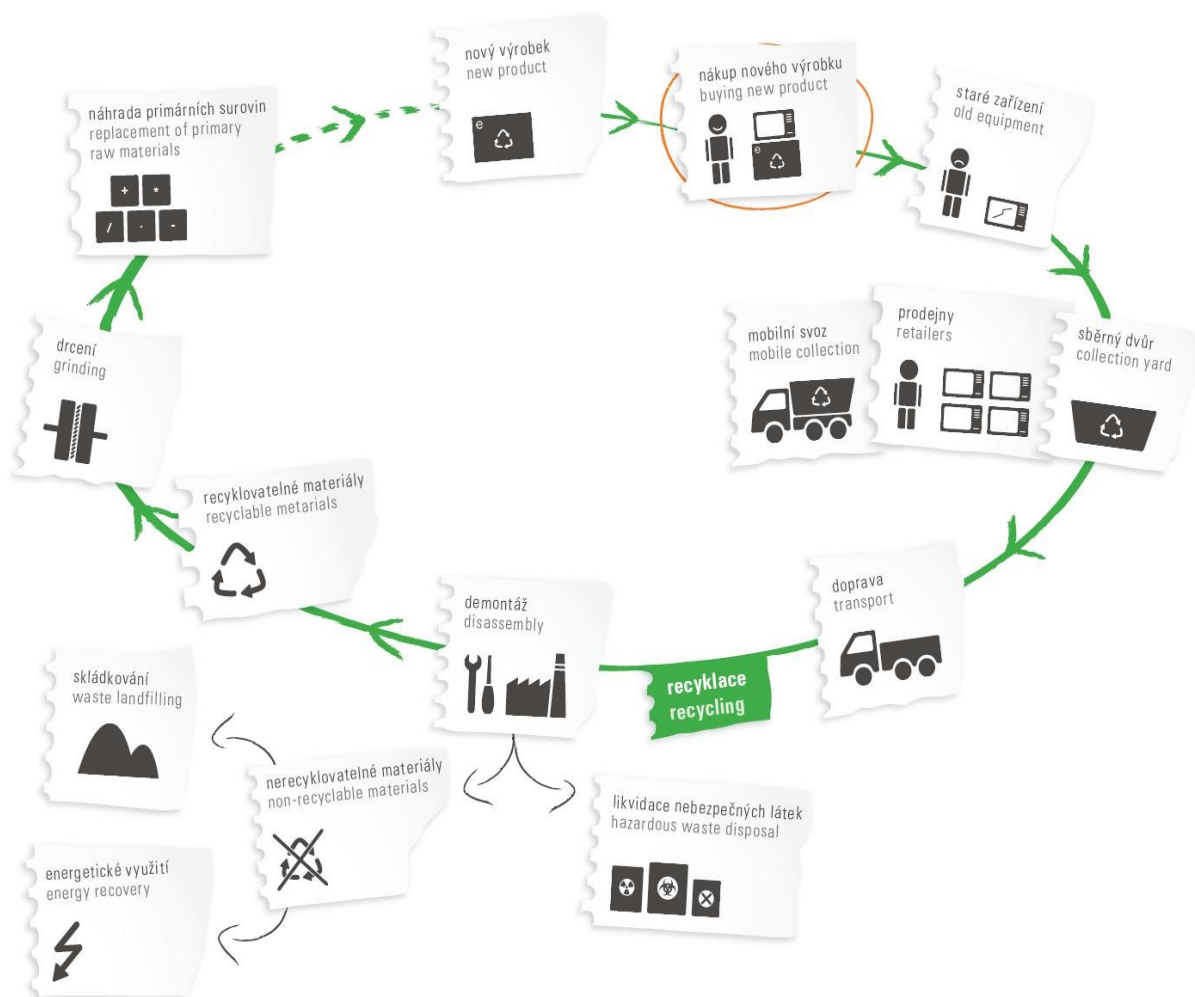
Tento způsob získávání je založen na přidání organické fáze nemísitelné s vodou do vodného roztoku loužidla, za stálého intenzivního promíchávání. Míchače slouží k účinnému získávání iontů kovů. Jako organický komponent se využívají poměrně levné látky, jako je petrolej nebo benzen. Tato složka rovněž zahrnuje chemickou látku, pomocí které dochází ke vzniku sloučenin s požadovaným kovovým iontem, který je rozpuštěný v loužidle. [41]

V procesu extrakce nastává pomocí reagentu selektivní separace požadovaných iontů kovů a tyto vyseparované ionty se následně z organické fáze získávají bez obtíží. Organická složka je podrobena regeneraci a v extrakci opětovně použita. [41]

Reagent a komplex vzniklý s kovovým iontem se vyznačují rozpustností v organické složce a naopak nerozpustností ve vodní fázi. Z toho důvodu existuje početná škála dosažitelných extrahentů, které se rozdělují podle pH roztoku, typu kyseliny nebo zásady využitě k loužení suroviny a selektivnosti iontů za výskytu některých nečistot. [41]

5 Posouzení technologických, ekologických a ekonomických možností recyklace elektroodpadu

Recyklace elektroodpadu znamená zpracování materiálů, které jsou obsaženy v elektrospotřebičích a tím jejich opětovného využití jako druhotných surovin. Jelikož tento odpad v současné době velmi rychle narůstá, musíme řešit otázku jeho zneškodnění jak po stránce ekologické, tak i využití po stránce ekonomické. Na Obr. 5.1 je uveden životní cyklus elektrozařízení. [36]



Obr. 5.1 Životní cyklus výrobku [36]

5.1 Ekologické a ekonomické hledisko recyklace elektroodpadu

V rámci recyklace elektroodpadu je zřejmé, že ekologické a ekonomické aspekty spolu úzce souvisí. Zpracováním druhotných surovin z elektrických a elektronických odpadů obsahujících ušlechtilé kovy dochází nejen k šetření primárních zdrojů, a tím i k ochraně životního prostředí, ale i k zpětnému získání a opětovnému použití surovin. Z toho vyplývá, že recyklace přináší z ekonomického pohledu snížení nákladů vynaložených na výrobu nových výrobků, jelikož získáním druhotných surovin dochází k úspoře nákladů na novou těžbu. S rostoucím počtem elektrozařízení určených k recyklaci dochází k vytěžení menšího množství přírodních zdrojů potřebných k výrobě nových zařízení. Ze zákona je nezbytné zabezpečit recyklaci 50 - 80% všech elektrospotřebičů. [45] [46] [35] [36]

Při samotném zpracování je důležitá volba technologických postupů a to co nejvíce efektivních a šetrných k životnímu prostředí, obzvláště metod zabráňujícím úniku nebezpečných a toxických látek do prostředí. [45] [47]

Z pohledu životního prostředí je recyklace elektroodpadu důležitá i z hlediska snižování množství odpadů na skládkách, poněvadž elektroodpad patří částečně do nebezpečného odpadu. Proto je potřeba tyto zdraví nebezpečné látky obsažené v některých EEZ prostřednictvím recyklace zachycovat a tím znemožnit jejich kontaminaci a poškození. Snižováním tohoto odpadu na skládkách dochází také k omezení ekonomických ztrát, které tento nezužitkovaný odpad představuje. [45] [47]

K výraznému šetření energie dochází prostřednictvím energetického a materiálového využití zpětně odebraných elektrozařízení. Zejména recyklací skla a součástek bohaté na měď a vzácné kovy, kupříkladu zpracování kabelů a desek plošných spojů. Další úsporu lze dosáhnout recyklací železa, hliníku a plastů. Úspora těchto energií je poměrně vysoká oproti spotřebované energii vynaložené na sběr, dopravu a demontáž vyřazených elektrospotřebičů. [48]

Další možností uplatnění elektroodpadu mimo recyklaci je energetické. Ve spalovnách odpadu dochází k použití částí, které nelze materiálově využít a tím i zužitkovat vzniklého tepla spálením. Do energetického využití, lze zahrnout i výrobu energie. [35]

5.1.1 Recyklační poplatek

V rámci recyklace EEZ byl do ceny nového elektrozařízení zahrnut recyklační poplatek neboli poplatek za historický elektroodpad. Od roku 2005, kdy vešla v platnost novela zákona o odpadech, která uvádí povinnost financovat zpětný odběr a následnou recyklaci výrobků všem výrobcům a dovozcům elektrozařízení, se tento poplatek započítává do ceny výrobku. Z toho vyplývá, že recyklace elektroodpadu je předplacena již při koupi nového výrobku. Recyklační poplatek se odlišuje pro dílčí typy elektrozařízení a náklady na jejich zpětný odběr jsou hrazeny z tohoto poplatku. Obtížnost zpracování elektroodpadu a možnosti jeho využití souvisí s výší poplatku. [49] [50]

V Tab. 5.1 jsou uvedeny výše recyklačních poplatků vybraných EEZ platných od 1. července 2015. [51]

Tab. 5.1 Recyklační poplatky vybraných elektrozařízení [51]

Typ zařízení	Jednotka	Recyklační poplatek
Osobní počítače	ks	12 Kč
Přenosné počítače	ks	12 Kč
Faxy, tiskárny	ks	12 Kč
Drobná kancelářské zařízení	ks	1,50 Kč
Mobilní telefony	ks	1 Kč
Rádia	ks	5 Kč
Chladničky	ks	160 Kč
Myčky nádobí	ks	57 Kč
Mikrovlnné trouby	ks	8 Kč
Digitální fotoaparáty a videokamery	ks	8 Kč
Laboratorní zařízení	ks	20 Kč
Svítlidla (pro zářivky, výbojková, LED, aj.)	ks	8,40 Kč

5.1.2 Výroční ekologická zpráva firmy Apple

Zpracováním mobilních telefonů lze získat suroviny, jež se mohou použít na výrobu nových mobilních telefonů, stejně jako recyklací ostatních elektronických zařízení lze získat druhotné suroviny, které se využívají k výrobě nových výrobků. [48] [35]

U moderních elektronických zařízení nazývaných smartphone dochází recyklací k získání cenných materiálů včetně zlata. Průměrný smartphone obsahuje asi 25 až 30 mg zlata. K porovnání, recyklací typického stolního počítače, lze získat okolo 250 mg žlutého kovu. [52]

Kupříkladu firma Apple v loňském roce vytěžila v přepočtu zhruba 28 000 t nejružnějších materiálů ze zařízení, u kterých došlo k ukončení jejich životního cyklu (staré iMacy, iPhony, iPady, další vlastní elektronika), které zvládne opětovně zpracovat. Tyto informace pochází z výroční ekologické zprávy společnosti. Část této uvedené hmotnosti odpovídající 27 831 t představuje ocel, plast, sklo, hliník a měď. Z celkového výtěžku tvoří neopomenutelnou část zlato, kterého Apple získal 999,7 kg. Firma Apple by si tím pádem recyklací vyřazené elektroniky přilepšila prostřednictvím získaného zlata takřka o 950 mil. Kč. Obzvláště při dnešních výkupních cenách zlata. [52]

Z výroční zprávy dále vyplývá, že Apple recyklací získal také 3 306 kg stříbra, jehož hodnota je asi 2,5 mil. Kč. Hodnota získaných 1 340 t mědi by pak dosáhla v přepočtu asi 155 mil. Kč. Cena jen tří uvedených materiálů získaných recyklací by tak v přepočtu dala přes 1,1 mld. Kč. [52]

5.1.3 Analýzy firmy ASEKOL

Firma ASEKOL si od roku 2005-2014 nechává vyhotovit analýzu environmentálních efektů své činnosti, ze které vyplývá úspora surovin a zdrojů díky recyklaci. Cílem LCA (Life Cycle Assessment) studie bylo objasnit subjektivní, snadno pochopitelnou a mezinárodně osvědčenou metodou environmentální dopady spojené se zpětným odběrem, přepravou a zpracováním elektrozařízení. V rozsahu této analýzy zpětně odebraného elektrozařízení byly vysvětleny a vyčísleny jak pozitivní a negativní vstupy do životního prostředí, tak i výstupy z něj. Stanovení přepravních vzdáleností ze sběrných míst až ke zpracovatelům a následné vyčíslení působení dopravy na životní prostředí je rovněž obsahem studie. Pro zkoumání byla

použita jednotlivá zařízení jako je televize, monitory, notebooky, tiskárny, mobilní telefony a vybrané drobné EEZ. [53]

Studie LCA skutečně prokázala environmentální výhodnost hodnoceného systému zacházení se zpětně odebranými elektrozařízeními. Prokázala přínos recyklace OEEZ pro životní prostředí a tím i efektivitu soustavy, která byla zavedena v České republice. Úspory obzvláště souvisí s materiálovým využitím podílů bohatých na drahé kovy, jako je stříbro, zlato a palladium. Taktéž recyklace mědi, železa, hliníku a mosazi tvoří kladnou bilanci. Spalováním plastů obsažených v součástech bohatých na kovy vede ke snížení množství paliv žádoucích pro tavení kovů. [54]

V roce 2014 firma ASEKOL zaznamenala prostřednictvím kolektivního systému sběr 16 981 t elektrospotřebičů, což průměrně dělá 1,62 kg elektroodpadu na občana. Díky tomuto zpětnému sběru a recyklací vysloužilého elektrozařízení došlo k výraznému snížení ekologické zátěže a vedlo k úspoře celkem 11 mil. litrů ropy, 219 296 MWh, které by stačili na roční provoz domácností, mld. litrů vody, jež se obvykle využívá k výrobě až 3 mil. sudů piva. Mimo tyto úspory došlo taktéž ke snížení produkce CO₂ až o 47 375 kg, což odpovídá zhruba 764 jízd z Prahy do Ostravy. Důležitým přínosem zpracování elektroodpadu přineslo snížení produkce nebezpečných odpadů v České republice o 188 634 t, tím došlo ke snížení množství tohoto odpadu na skládkách. [53]

V Tab. 5.2 uvádím přínosy sběru a recyklace televizí, monitorů a drobného EEZ pro životní prostředí díky zpětnému odběru vybraných elektrozařízení v roce 2014 v ČR a k porovnání celkové úspory za rok 2013. [55]

Tab. 5.2 Přínos sběru a recyklace vybraných elektrozařízení pro životní prostředí v roce 2014 a 2013 v ČR [55] [56]

Výsledky v roce 2014				Výsledky v roce 2013
	TV a monitory	Drobné EEZ (1kg)	Úspora celkem	Úspora celkem
Množství sebraných kg za rok	11 395 821	5 583 448	16 981 269	15 690 898
Úspora elektrické energie (MWh)	83 908	135 388	219 296	193 089
Úspora vody (m ³)	431 628	516 985	948 613	850 522
Úspora ropy (l)	1 614 167	9 618 392	11 232 559	9 384 525
Úspora primárních surovin (t)	5 429	2 512	7 941	7 541
Snížení produkce nebezpečného odpadu (t)	81 440	107 194	188 634	168 552
Snížení emisí skleníkových plynů (t CO ₂ ekv.)	22 475	24 900	47 375	42 544

V Tab. 5.3 je zobrazena úspora elektrické energie v jednotlivých krajích v roce 2014 získaná zpracováním elektroodpadu, jako je televize, počítačové monitory a vybrané ostatní drobné elektrozařízení.

Tab. 5.3 Úspora elektrické energie v jednotlivých krajích v roce 2014 [55]

Sběr 2014 po krajích	Televizory a počítačové monitory	Ostatní drobné elektrozařízení	Celkem	Úspora elektrické energie
Kraj	kg	kg	kg	MWh
Hlavní město Praha	1 582 140	770 171	2 352 311	30 318
Středočeský kraj	1 357 232	948 698	2 305 930	32 992
Moravskoslezský kraj	1 251 338	645 051	1 896 389	24 850
Jihomoravský kraj	1 327 320	563 095	1 890 415	23 421
Plzeňský kraj	686 592	395 319	1 081 911	14 638
Jihočeský kraj	645 834	315 582	961 416	12 405
Královehradecký kraj	498 357	351 340	849 697	12 187
Kraj Vysočina	674 402	280 995	955 397	11 776
Zlínský kraj	758 401	251 687	1 010 088	11 683
Olomoucký kraj	652 197	251 881	904 078	10 907
Pardubický kraj	560 212	273 215	833 427	10 747
Ústecký kraj	646 055	219 142	865 197	10 068
Liberecký kraj	486 976	177 178	664 154	7 880
Karlovarský kraj	268 765	142 094	410 859	5 424
Úhrnný součet	11 395 821	5 585 448	16 981 269	219 296

5.2 Technologické možnosti recyklace elektroodpadu

Zpracování elektroodpadu závisí na účelné volbě recyklační technologie. Mezi metody zpracování tohoto odpadu zahrnujeme mechanické, pyrometalurgické a elektrometalurgické metody, o nichž se zmiňuji podrobněji níže a hydrometalurgické možnosti zpracování, kterým se věnuji v *kap. 4.1. V příloze P-III/1* přikládám schéma společného zpracování primárních a druhotných surovin.

5.2.1 Mechanické metody

Mechanické metody jsou založeny na změně velikosti vstupního materiálu a jeho roztřídění prostřednictvím fyzikálních vlastností jednotlivých komponentů. [32]

Těmto metodám zpracování elektroodpadu většinou předchází ruční anebo částečně mechanizovaná demontáž, orientována na součásti obsahující vzácné kovy, především transformátory, cívky, chladicí tělesa, motory, kondenzátory, baterie, kabely, vodivé desky a jiné. Součásti s obsahem nebezpečných látek musí být taktéž ručně odstraněny, konkrétně rtuťové spínače, baterie a kondenzátory s obsahem PCB. [32]

Mechanické metody lze rozdělit na dvě skupiny: [32]

- selektivní demontáž na složky
- mechanické zpracování pro recyklaci materiálů

V současnosti vykonává demontáž, jakožto první fáze recyklace následující tři úkoly:

- zneškodnění komponentů obsahující nebezpečné látky
- zajištění komponentů, jež je možno dále využít bez potřeby úprav
- nabytí znovupoužitelných částí, které lze použít jako náhradní díly

Technologie využívající se pro mechanické zpracování jsou ruční demontáž, drcení, mletí a třídění, oddělení jednotlivých složek a rafinace. [32]

Ruční demontáž

Tyto operace zahrnují zpracování elektroodpadu, rozebrání kontaktů obsahující ušlechtilé kovy a odebrání desek s plošnými spoji. Mezi další důležité operace ruční

demontáže lze zahrnout odstranění součástí s obsahem rizikových kovů a obrazovky z monitorů. [32]

Drcení, mletí a třídění

Ke zpracování těmito procesy se využívají drtiče, mlýny a třídiče. Jejich výběr je závislý na kapacitě a hrubosti částí, množství materiálu, který je učen ke zpracování, obzvláště železného šrotu závisí na výkonnosti zařízení. Materiál se v prvním kroku podrobí drcení v drtičích a následuje mletí v mlýnech a třídění.

Mezi nejvíce využívané mlýny pro mletí elektroodpadu řadíme diskový vibrační, tryskový a střížný mlýn. [32]

Separace jednotlivých složek

V závislosti na finálním odběrateli, zpracovateli nebo vyžadované ceně se musí materiál podroben drcení segregovat na jednotlivé části. K separaci kovů a plastů se využívají rozdílné technologie: [32]

- kryogenní technologie využívané k oddělování a rozdružování různých kovů
- pomocí ohřevu získání nízkotavitelných kovů, které mohou být obsaženy např. v pájce
- oddělení kovů od plastů a naopak využitím magnetické separace a separací vzduchem
- roztřídění odlišných kovů podle jejich hustoty a těžkosuspenzní rozdružování
- oddělení různorodých neželezných kovů s využitím elektromagnetické separace

Rafinace

Hlavním cílem rafinačních metod je odstranění nežádoucích nečistot v konečných výrobcích. Rafinační elektrolýza patří k nejčastěji využívaným technologiím, především při rafinaci mědi. Síran měďnatý tvoří elektrolyt, anoda představuje žárově rafinovanou měď a katoda je tenký plech z elektrolytické mědi. K rozpouštění mědi z anody a k jeho redukci na katodě nastane zapojením stejnosměrného proudu. [32] [42]

5.2.2 Pyrometalurgické metody

Podstatou pyrometalurgických procesů je separace kovů z rudy, v níž jsou chemicky vázány. Tyto pochody se uskutečňují za zvýšených nebo vysokých teplot a v důsledku fyzikálních a chemických reakcí. Během metalurgických procesů dochází k systematickému odstranění příměsí a nečistot, postupné koncentraci určitého kovu a posléze po rafinačních pochodech získávání kovu vyžadované čistoty a tvaru příhodném pro nadcházející zpracování. [42]

Mezi základní pyrometalurgické procesy patří pyrolýza, tavení v plazmové obloukové peci, struskování, spékání a reakce s plynnou fází za vyšších teplot. [32]

Při zpracování materiálu obsahující plastické hmoty a různé organické složky je spalování nejběžnějším postupem. Spalování předem rozdrceného materiálu se uskutečňuje v peci nebo v tavenině kovů. V surovém kovu lze tavit a zkoncentrovat slitiny, jež jsou znečištěny. Posléze následuje pyrometalurgická a elektrolytická rafinace. [32]

Podstatnou výhodou tavicích pochodů je schopnost zpracovat elektroodpad všeho druhu. [32]

Hlavními nevýhodami tepelných pochodů při zpracování elektroodpadu jsou: [32]

- znečištění životního prostředí při likvidaci plastů a odlišných izolovaných materiálů
- zvyšování množství strusky v pecích díky keramickým a skleněným podílům a současný nárůst ztrát ušlechtilých i základních kovů
- snižování možnosti recyklaci kovu prostřednictvím přímé cesty, což je vyvoláno zvyšováním množství tuhých emisí díky vyššímu obsahu mědi v odpadech
- recyklace některých kovů, především cínu a olova je nízká, u hliníku a zinku v podstatě nereálná

Mezi základní pyrometalurgické procesy řadíme sušení a kalcinace, pražení, spékání (aglomerace), tavení, sublimace a destilace, tepelný rozklad (termická redukce) a rafinace (změnou rozpustnosti při tuhnutí). [42]

V příloze P-IV/I uvádím schéma pyrometalurgického zpracování.

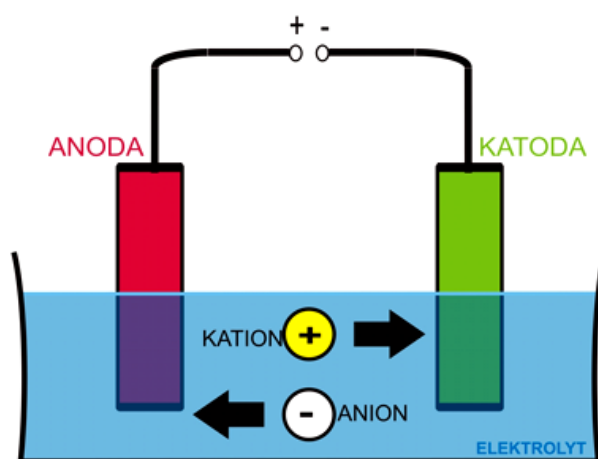
5.2.3 Elektrometalurgické metody

Elektrometalurgie je proces, kdy dochází k vyloučení žádaných iontů z roztoků vhodnou volbou napětí, popřípadě vylučování kovu na elektrodě (katodě). Tyto procesy jsou doprovázeny oxidačními a redukčními reakcemi. Spolu s hydrometalurgií zprostředkovávají ekonomické zpracování s následným použitím veškerých složek výchozích surovin. [42]

Elektrolýza

Elektrolýza je elektrochemický děj, kdy v roztoku elektrolytu v důsledku přiváděného stejnosměrného proudu z vnějšího zdroje nastávají chemické změny. Proces elektrolýzy se uskutečňuje pomocí přístroje známého jako elektrolyzér. Elektrolyzér se skládá z nádoby spolu s roztokem nebo taveninou vhodného elektrolytu, do něhož je za pomoci elektrod veden z příslušného zdroje stejnosměrný proud. Katoda se vyznačuje jako elektroda, která v každém případě obsahuje přebytek elektronů, a je připojená na záporný pól. Oproti tomu anoda, druhá elektroda, jenž je zapojená na kladný pól zdroje, je charakterizována nedostatkem elektronů. Přivedením proudu dochází k přechodu kladně nabitých iontů (kationty) ke katodě a záporně nabitých iontů (anionty) k anodě. V rámci těchto střetů iontů a elektrod dochází k oxidačním a redukčním dějům, kdy na katodě nastává odevzdání přebytečných elektronů iontům a dochází k jejich redukci a na anodě dochází k odebrání elektronů iontům a tím je oxiduje. Popsané děje se nazývají katodická redukce a anodická oxidace. [42]

Na Obr. 5.2 uvádím obecný průběh elektrolýzy. [57]



Obr. 5.2 Schéma obecné elektrolýzy [57]

6 Experimentální část – hydrometalurgické zpracování a zisk zájmových produktů

V praktické části jsem se věnovala hydrometalurgickému zpracování vybraných druhů elektroodpadu (mobilní telefony, počítače) a následným ziskem zájmových produktů. Všechny laboratorní úlohy jsem prováděla v laboratoři Katedry neželezných kovů, rafinace a recyklace.

V následujících kapitolách popisují laboratorní měření, které jsem rozdělila do dvou částí.

6.1 Hydrometalurgické zpracování elektroodpadu

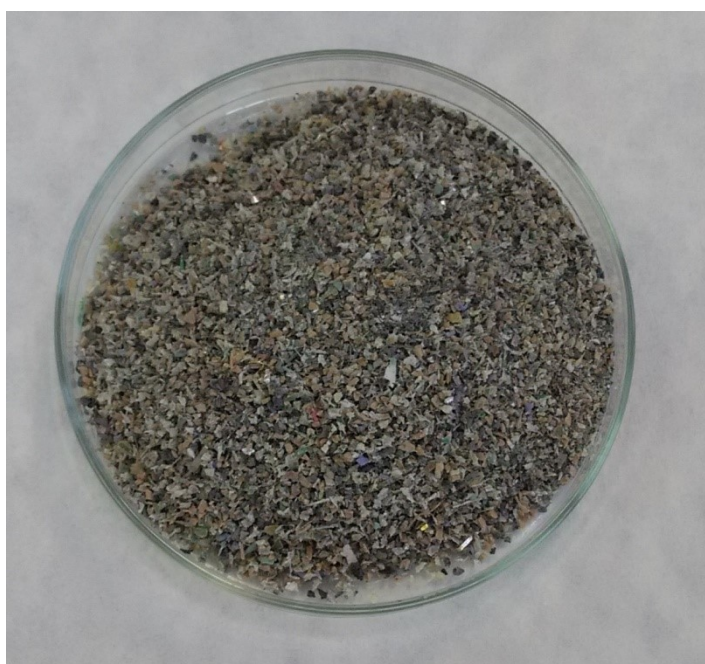
Pro zpracování jsem jako vstupní materiál použila nefunkční mobilní telefony různých značek, především jejich kovové části a části z vyřazených počítačů (desky plošných spojů). Demontované mobilní telefony a části z počítačů byly podrobeny po ruční demontáži mletí pomocí střížného mlýna SM 2000 RETSCH (*Obr. 6.1*) na požadovanou velikost – 2mm (*Obr. 6.2*) a následnému loužení v příslušné kyselině. V *Tab. 6.1* uvádím vstupní okamžitou relativní analýzu použitého materiálu. Ta byla provedena pomocí ručního (mobilního) rentgenové spektrometru typu DELTA PROFESSIONAL Dynamic XRF, který popisují v *kap. 6.1.1*.

Tab. 6.1 Vstupní chemická analýza naměřena ručním rentgenovým spektrometrem

Vstupní materiál	Prvek [hm. %]											
	Al	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Ag	Sn	Sb	Au	Pb
Hrubý podíl	5,49	0,04	0,03	0,32	0,1	13,83	0,14	0,06	0,41	0,25	0,24	0,07
Jemný podíl	5,94	0,09	0,06	0,63	0,26	9,9	0,38	0,21	1,11	0,21	0,22	0,63



Obr. 6.1 Střížný mlýn SM 2000 RETSCH



Obr. 6.2 Mechanicky upravený vstupní materiál

6.1.1 Loužení elektroodpadu v 10% kyselině sírové

K loužení elektroodpadu jsem použila 10% roztok H_2SO_4 , který jsem si připravila pomocí výpočtu (6.1) a (6.2) její potřebné koncentrace (ředěním 96% H_2SO_4).

$$M_{H_2SO_4} = \frac{M(C - B)}{A - B} \text{ [ml]} \quad (6.1)$$

$$M_{H_2SO_4} = \frac{1000(10 - 0)}{96 - 0} = 104,17 \text{ ml}$$

$$M_{H_2O} = \frac{M(A - C)}{A - B} \text{ [ml]} \quad (6.2)$$

$$M_{H_2O} = \frac{1000(96 - 10)}{96 - 0} = 895,83 \text{ ml}$$

kde je M..... objem zásobního roztoku [1000ml]

A koncentrovaná H_2SO_4 [96%]

B koncentrace vody [0%]

C výsledná koncentrace H_2SO_4 [10%]

Teploty, doby loužení, hmotnosti vzorků, objemy roztoků využitých k loužení a poměr K:P jsou vyjádřeny v Tab. 6.2

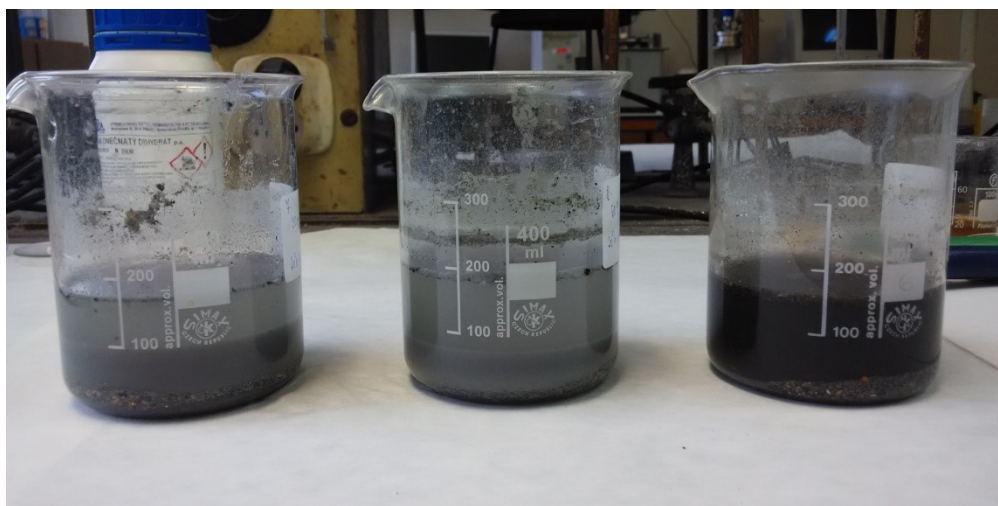
Tab. 6.2 Vstupní parametry loužení

Číslo vzorku	Teplota loužení [°C]	Doba loužení [h]	Hmotnost vzorku [g]	Objem roztoku 10% H_2SO_4 [ml]	Poměr K:P
1.	30	3	12,5	250	1:20
2.	60	3	12,5	250	1:20
3.	30	6	12,5	250	1:20
4.	60	6	12,5	250	1:20

Připravené loužicí roztoky (250ml) jsem v kádinkách umístila na magnetické míchačky s ohřevem, které uvádím na *Obr. 6.3*, nastavila jednotlivé teploty a po zahřátí na potřebnou teplotu jsem k roztokům přidala 12,5g vzorku rozemletého elektroodpadu (1:20). Loužení probíhalo za pomoci míchadel, díky kterým docházelo k neustálému míchání vzorku a roztoku a tím jejich úplnému propojení. Loužicí procesy jsem ukončila po uplynutí časového intervalu a následně jsem provedla filtraci přes skleněný filtrační papír k oddělení odpadního loužence a výluhu (*Obr. 6.4*). Loužence jsem spolu s Petriho miskou vložila do sušárny k vysušení na 24h při 105°C pro následnou analýzu. Výluhy bohaté na zájmové kovy jsem nalila do zásobních nádob a analyzovala na obsah Zn a dalších vybraných prvků v Centru nanotechnologií na Vysoké škole báňské – Technické univerzitě v Ostravě.



Obr. 6.3 Elektromagnetická míchadla s loužicími roztoky



Obr. 6.4 Výluhy s odpadními louženci

Vysušené loužence jsem podrobila analýze pomocí ručního (mobilního) rentgenové spektrometru typu DELTA PROFESSIONAL Dynamic XRF (*Obr. 6.5*), pomocí něhož jsem určila přesnou nedestruktivní analýzu chemického složení materiálu. Analýza se uskutečňuje bez využití ochranné atmosféry a k měření prvků od hořčíku až po uran. Přístroj slouží k nedestruktivní analýze chemického složení kovových i nekovových materiálů, vysokolegovaných a nízkoalegovaných ocelí, litin a slitin neželezných kovů (hořčíkové, niklové, hliníkové, titanové, měděné a jiné) a slitin drahých a vzácných kovů. Vzorky lze analyzovat v sytkém nebo tekutém stavu. Relativní výsledky analýzy uvádím v *Tab. 6.3*.



Obr. 6.5 Ruční rentgenový spektrometr typ DELTA PROFESSIONAL Dynamic XRF

Tab. 6.3 Obsahy kovů v analyzovaných odpadních loužencích naměřeny ručním rentgenovým spektrometrem

Vzorek č.	Prvek [hm. %]											
	Al	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Ag	Sn	Sb	Au	Pb
1.	2,39	0,05	0,03	1,12	0,26	11,39	0,20	0,24	0,49	0,17	0,22	0,66
2.	2,63	0,04	0,02	0,39	0,28	15,61	0,20	0,11	0,51	0,26	0,25	0,83
3.	2,79	0,05	0,01	0,23	0,30	11,86	0,11	0,06	0,53	0,25	0,21	0,12
4.	2,55	0,03	0,02	0,62	0,27	14,67	0,18	0,34	0,48	0,21	0,23	0,35

6.1.2 Loužení elektroodpadu v 10% kyselině dusičné

K loužení elektroodpadu jsem použila 10% roztok HNO_3 , který jsem si rovněž jako u H_2SO_4 připravila pomocí výpočtu (6.3) a (6.4) její potřebné koncentrace (ředěním 65% HNO_3).

$$M_{\text{HNO}_3} = \frac{M(C - B)}{A - B} \text{ [ml]} \quad (6.3)$$

$$M_{\text{HNO}_3} = \frac{1000(10 - 0)}{65 - 0} = 153,85 \text{ ml}$$

$$M_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{M(A - C)}{A - B} \text{ [ml]} \quad (6.4)$$

$$M_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{1000(65 - 10)}{65 - 0} = 846,15 \text{ ml}$$

kde je M..... objem zásobního roztoku [1000ml]

A koncentrovaná HNO_3 [65%]

B koncentrace vody [0%]

C výsledná koncentrace HNO_3 [10%]

Teploty, doby loužení, hmotnosti vzorků, objemy roztoků využitých k loužení a poměr K:P jsou vyjádřeny v *Tab. 6.4*.

Tab. 6.4 Vstupní parametry loužení

Číslo vzorku	Teplota loužení [°C]	Doba loužení [h]	Hmotnost vzorku [g]	Objem roztoku 10% HNO ₃ [ml]	Poměr K:P
5.	30	3	25	200	1:8
6.	60	3	25	200	1:8
7.	30	6	25	200	1:8
8.	60	6	25	200	1:8

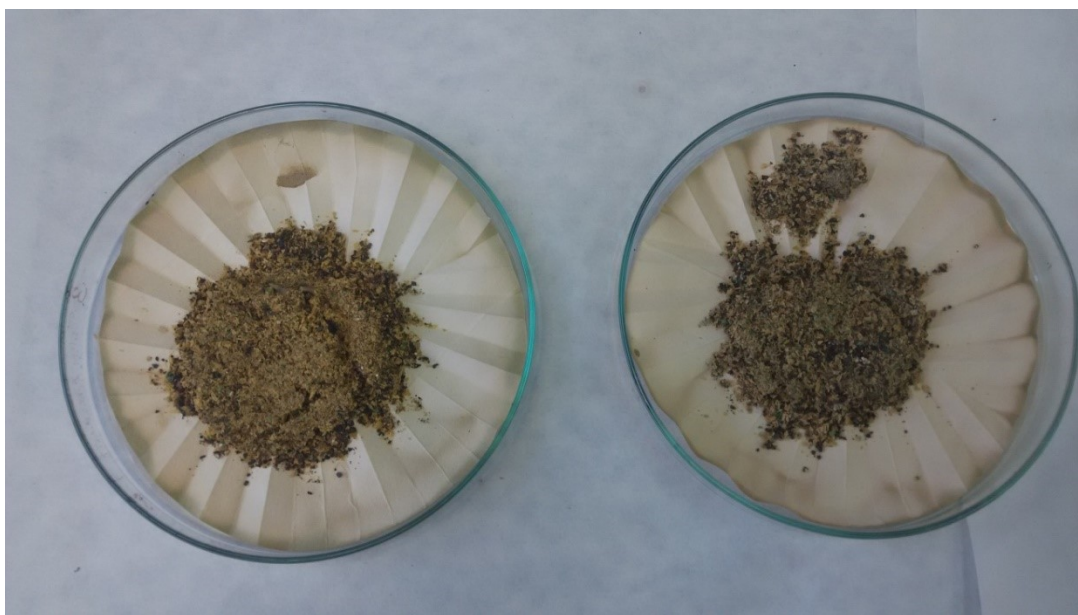
Postup loužení probíhal stejně jako v případě H₂SO₄. Připravené loužicí roztoky (200ml) jsem v kádinkách umístila na magnetické míchačky s ohřevem, které zobrazují na *Obr. 6.6*, nastavila jednotlivé teploty a po zahřátí na potřebnou teplotu jsem k roztokům přidala 25g vzorku rozemletého elektroodpadu (1:8). Loužení probíhalo za pomoci míchadel, díky kterým docházelo k neustálému míchání vzorku a roztoku a tím jejich úplnému propojení. Loužicí procesy jsem ukončila po uplynutí časového intervalu a následně jsem provedla filtraci přes skleněný filtrační papír k oddělení odpadního loužence a výluhu (*Obr. 6.7*). Loužence jsem spolu s Petriho miskou (*Obr. 6.8*) vložila do sušárny k vysušení na 24h při 105°C pro následnou analýzu. Výluhy bohaté na zájmové kovy jsem nalila do zásobních nádob a analyzovala na obsah Cu a dalších prvků v Centru nanotechnologií na Vysoké škole báňské – Technické univerzitě v Ostravě.



Obr. 6.6 Elektromagnetická míchadla s loužicími roztoky



Obr. 6.7 Výluhy s odpadními louženci

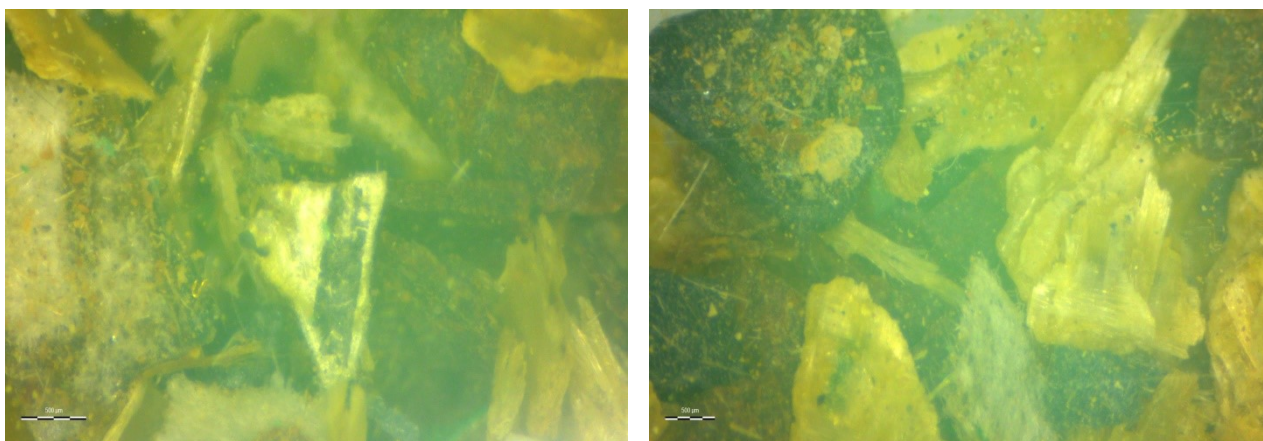


Obr. 6.8 Odpadní louženec

Vysušené loužence (*Obr. 6.9*) jsem rovněž podrobila analýze pomocí ručního (mobilního) rentgenové spektrometru typu DELTA PROFESSIONAL Dynamic XRF (*Obr. 6.5* uveden v *kap. 6.1.1*), pomocí něhož jsem určila přesnou nedestruktivní analýzu chemického složení materiálu. Analýza se uskutečňuje bez využití ochranné atmosféry a k měření prvků od hořčíku až po uran. Přístroj slouží k nedestruktivní analýze chemického složení kovových i nekovových materiálů, vysokolegovaných a nízkolegovaných ocelí, litin a slitin neželezných kovů (hořčíkové, niklové, hliníkové, titanové, měděné a jiné) a slitin drahých a vzácných kovů. Vzorky lze analyzovat v sytkém nebo tekutém stavu. Relativní výsledky analýzy vyjadřuji v *Tab. 6.5*. Jako doplňující analýzu jsem vzorek vysušeného loužence zobrazila (*Obr. 6.10*) pomocí mikroskopu Microptik při zvětšení 500 μ m.



Obr. 6.9 Vysušené loužence



Obr. 6.10 Mikroskopické zobrazení vysušených louženců

Tab. 6.5 Obsahy kovů v analyzovaných odpadních loužencích naměřeny ručním rentgenovým spektrometrem

Vzorek č.	Prvek [hm. %]										
	Al	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Ag	Sn	Sb	Au
5.	3,51	0,03	0,03	0,11	0,05	0,39	0,08	0,04	0,18	0,27	0,24
6.	3,63	0,03	0,04	0,28	0,04	0,23	0,1	0,15	1,14	0,33	0,24
7.	3,74	0,03	0,03	0,14	0,02	0,20	0,09	0,05	0,25	0,32	0,26
8.	2,57	0,10	0,03	0,43	0,02	0,22	0,09	0,1	1,34	0,42	0,26

6.2 Analýza a zisk zájmových produktů

V druhé části laboratorních úloh jsem analyzovala výluhy na vybrané zájmové kovy. Analýzu jsem provedla v Centru nanotechnologií na Vysoké škole báňské – Technické univerzitě v Ostravě pomocí atomového absorpčního spektrometru s příslušným odborným dohledem.

6.2.1 Atomová absorpční spektrometrie

Atomová absorpční spektroskopie (AAS) patří spolu s jinými analytickými metodami k metodám nepřímým. Jejím principem je měření selektivní absorpce monochromatického záření volnými atomy v základním energetickém stavu. Absorbované vlnové délky elektromagnetického záření jsou pro každý atom charakteristické a souvisí s výstavbou elektronového obalu na valenční energetické hladině. Pokles intenzity záření po jeho průchodu absorpčním prostředím závisí na koncentraci volných atomů prvku, jímž bylo záření absorbováno podle vztahu:

$$A = -\log T = -\log \frac{\phi}{\phi_0} \quad (6.5)$$

kde je A absorbance [-]

T..... transmittance

ϕ prošlé záření

ϕ_0 vstupující záření

Nezbytnou podmínkou absorpce je převedení analytů do atomárního stavu. V AAS se pro vytváření volných atomů nejběžněji využívá plamen, jenž dosahuje teplot 2000-3150 K v závislosti na druhu a poměru paliva a oxidovadla. Vlastní stanovení koncentrace prvku v roztoku se provádí pomocí kalibrační křivky sestavené proměřením absorbancí kalibračních roztoků o známé koncentraci anebo metodou standardních přídavek. Vzorky určené k analýze většinou obsahují kromě sledovaného i jiné prvky nebo sloučeniny, jež mohou značně ovlivňovat hodnotu absorbance. Proto je nutné měřit také absorbanci slepého vzorku.

Atomový absorpční spektrometr (*Obr. 6.11*) se skládá ze zdroje monochromatického záření daného prvku, absorpčního prostředí s volnými atomy, monochromátoru k separaci

rezonanční čáry primárního zařízení a detektoru záření, pomocí něhož dochází ke změně proudu fotonů (zářivý tok) na proud elektronů (elektrický proud).

Zdrojem záření jsou nízkotlaké, neonem vyplněné výbojky s dutou katodou. Tyto výbojky vyzařují čárové spektrum prvku, z něhož jsou vyrobeny nebo které jsou zahrnuty v materiálu duté katody. Díky tomu je zajištěna vysoká selektivita. [58]



Obr. 6.11 Atomový absorpční spektrometr

6.2.2 Analýza získaných výluhů

Získané výluhy (*Obr. 6.12*) jsem podrobila chemické analýze pomocí atomového absorpčního spektrometru. Jednotlivé vzorky bylo potřeba před samotnou analýzou upravit pro co nejpřesnější měření a to ředěním. Na *Obr. 6.13* zobrazuji naředěné vzorky, které jsem využila k rozboru.



Obr. 6.12 Výluhy určené k analýze



Obr. 6.13 Naředěné vzorky použity k analýze

Výluhy připraveny loužením v kyselině sírové i dusičné jsem analyzovala na kovy – Cu, Zn, Fe, Pb a Ni.

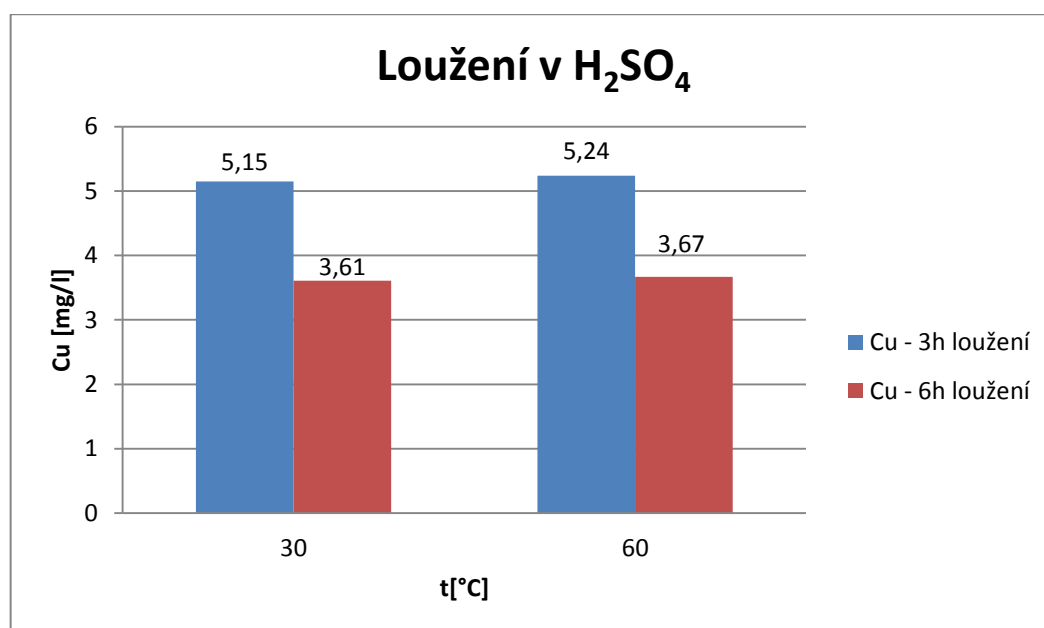
Výsledné obsahy vybraných prvků v roztocích jsou vyjádřeny v *Tab. 6.6* a *Tab. 6.7*. Ze zjištěných dat jsem sestrojila sloupcové grafy, které uvádím na *Obr. 6.14* až *Obr. 6.23*.

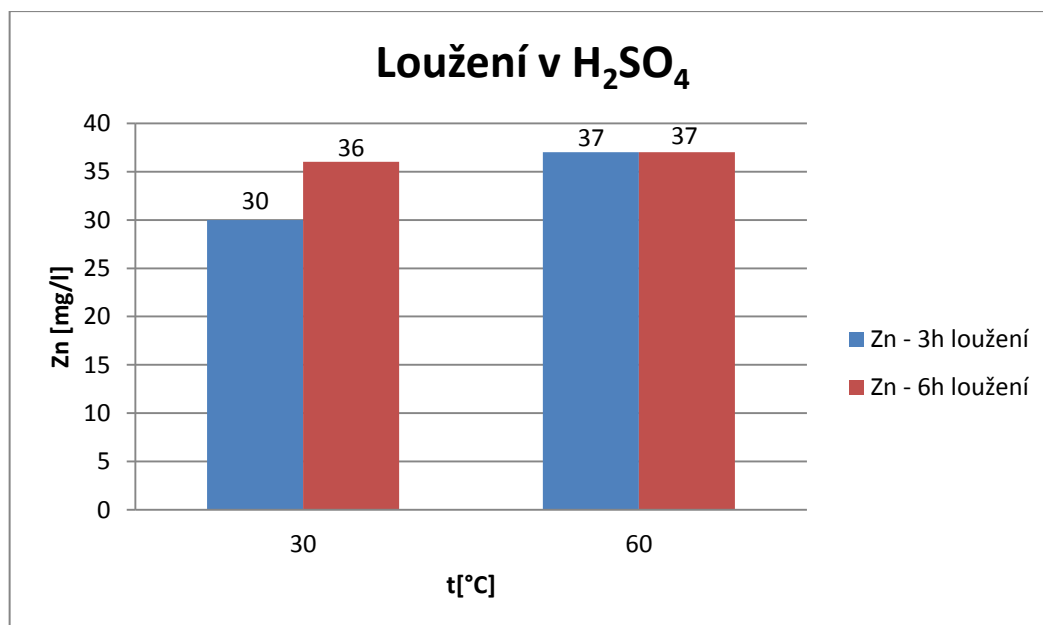
Tab. 6.6 Obsahy vybraných zájmových kovů získané loužením v H_2SO_4

Číslo vzorku	Označení analytu	Cu [mg/l]	Zn [mg/l]	Fe [mg/l]	Pb [mg/l]	Ni [mg/l]
1.	598/16	5,15	30	100	3,64	8,32
2	599/16	5,24	37	163	3,79	6,37
3.	600/16	3,61	36	127	3,25	6,97
4.	601/16	3,67	37	280	2,82	15,63

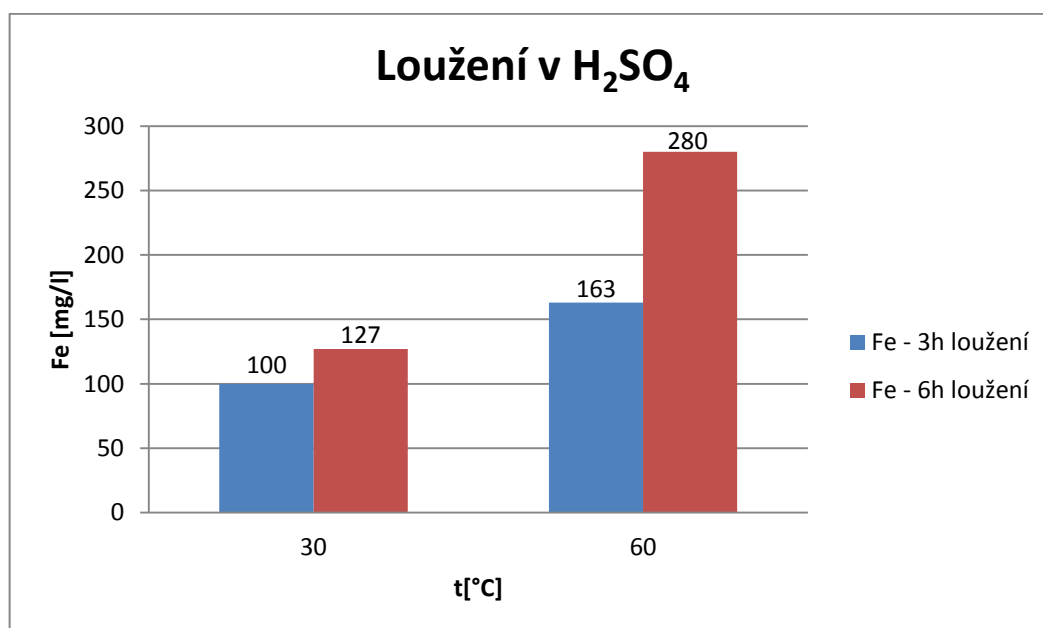
Tab. 6.7 Obsahy vybraných zájmových kovů získané loužením v HNO_3

Číslo vzorku	Označení analytu	Cu [mg/l]	Zn [mg/l]	Fe [mg/l]	Pb [mg/l]	Ni [mg/l]
5.	316/16	22013	1232	2262	1718	1470
6.	317/16	28615	1884	3963	2940	3141
7.	318/16	25298	1796	3348	2051	2141
8.	319/16	36910	1987	3192	3328	3120

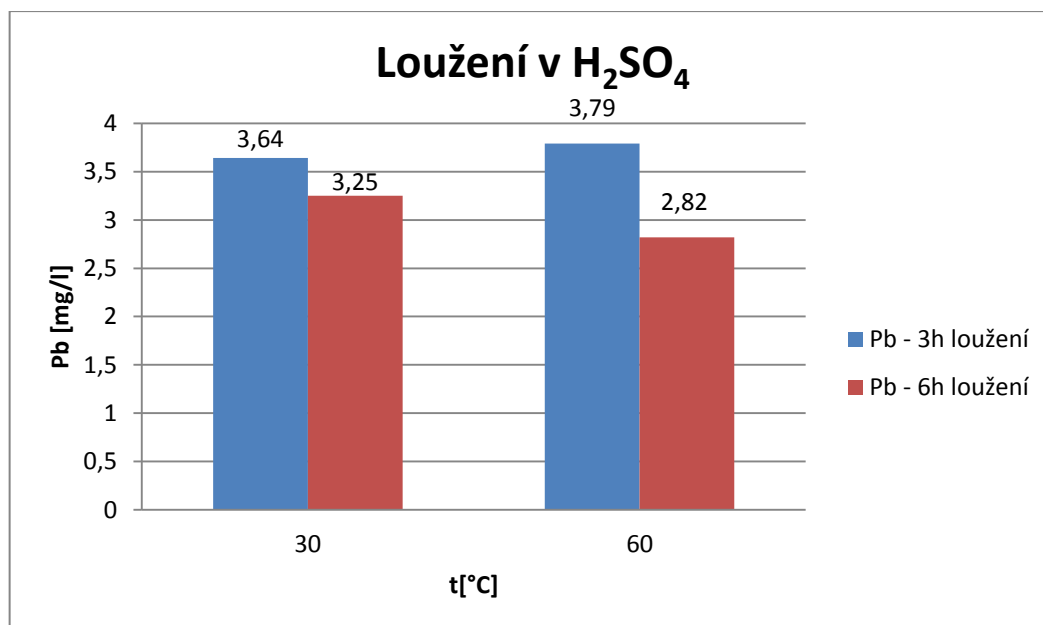
Obr. 6.14 Obsah Cu v roztoku H_2SO_4



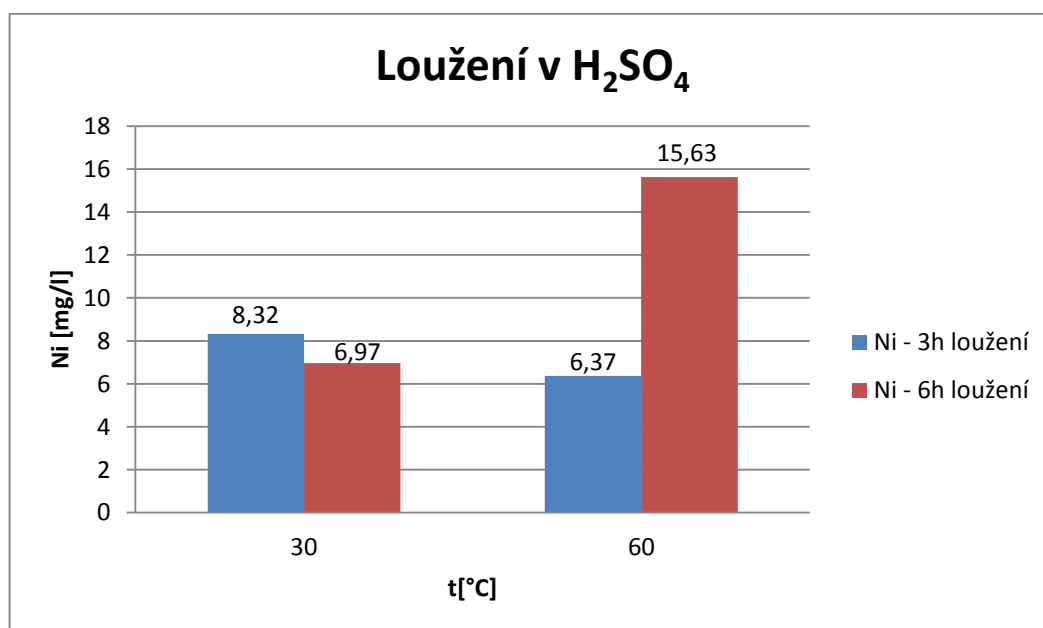
Obr. 6.15 Obsah Zn v roztoku H_2SO_4



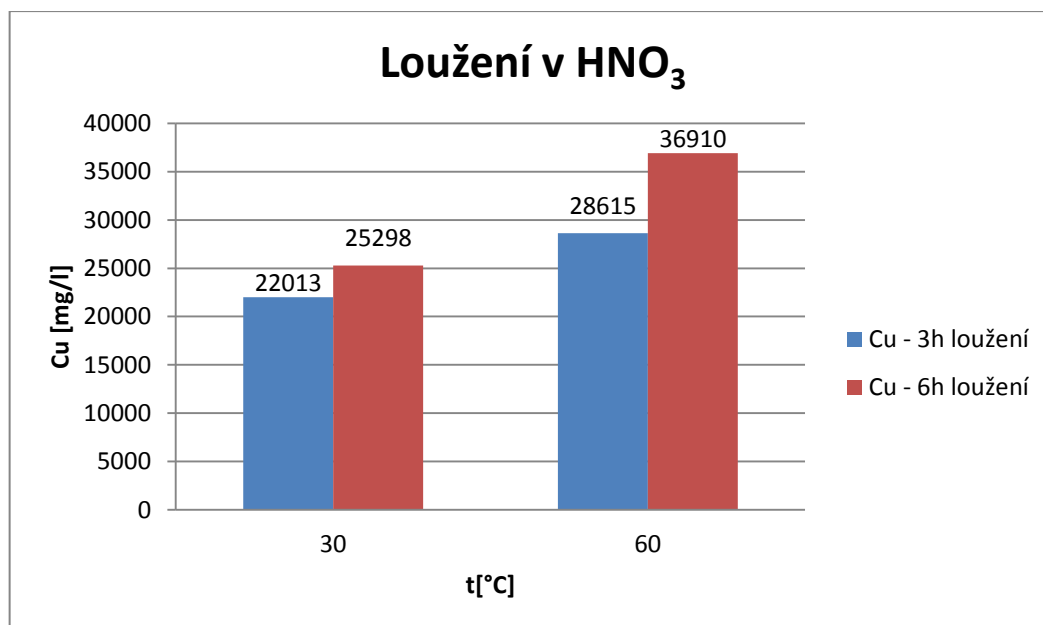
Obr. 6.16 Obsah Fe v roztoku H_2SO_4



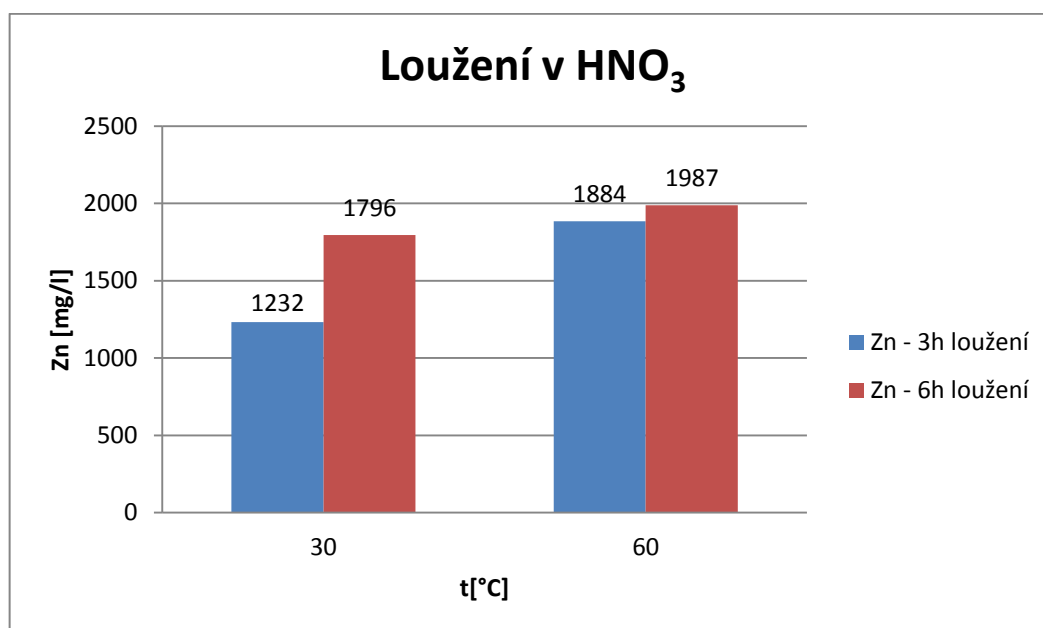
Obr. 6.17 Obsah Pb v roztoku H_2SO_4



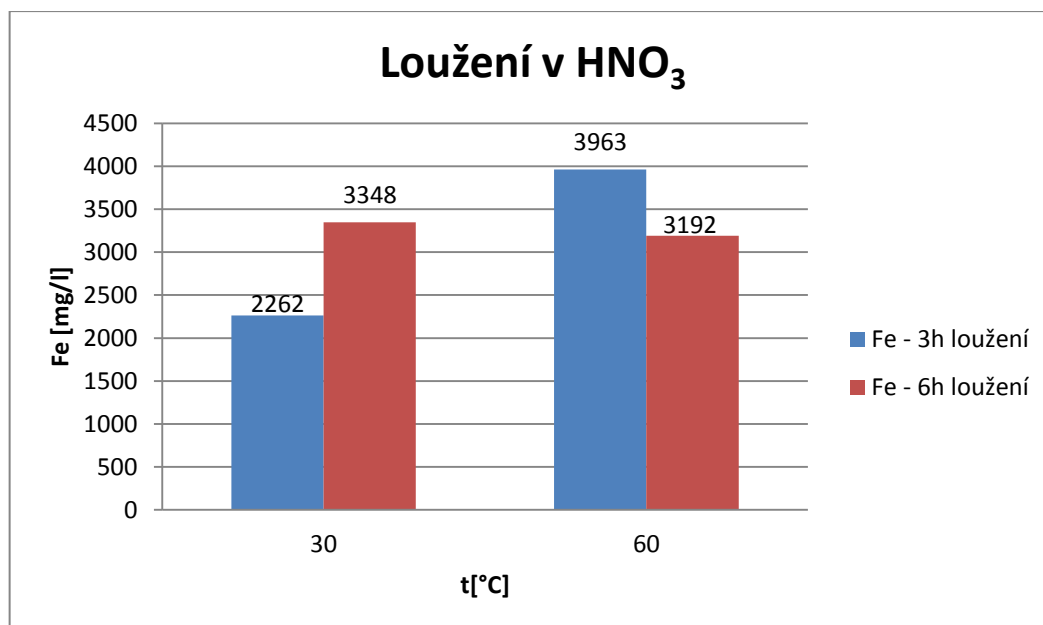
Obr. 6.18 Obsah Ni v roztoku H_2SO_4



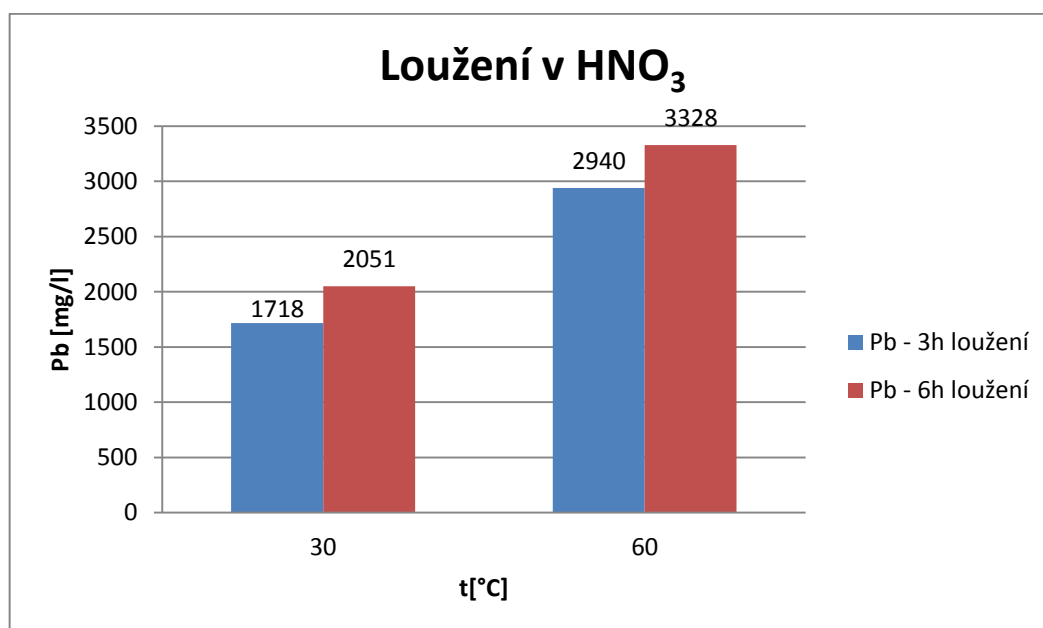
Obr. 6.19 Obsah Cu v roztoku HNO_3



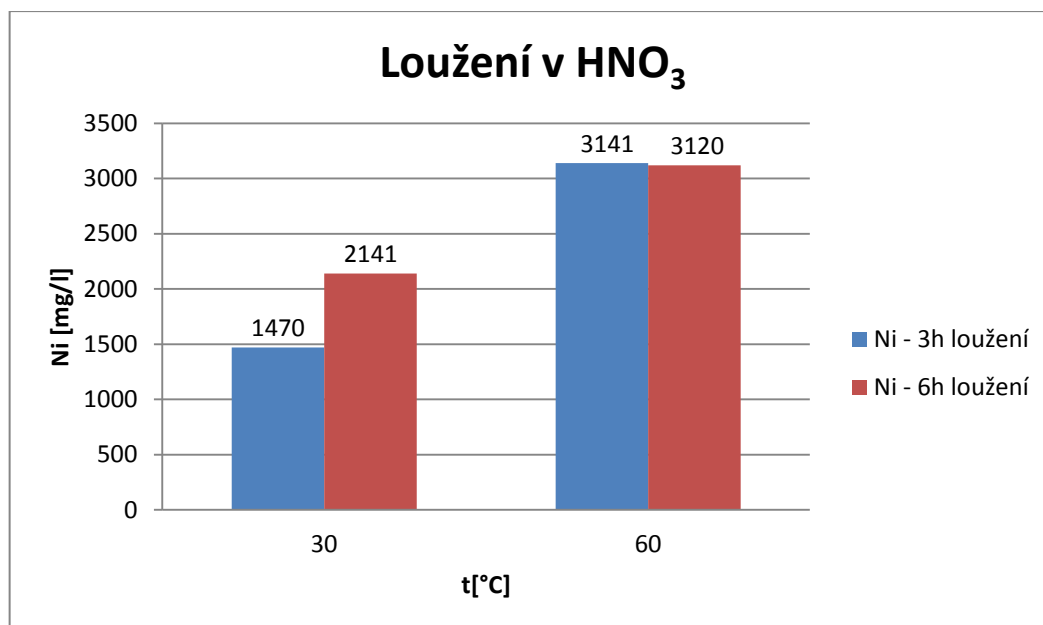
Obr. 6.20 Obsah Zn v roztoku HNO_3



Obr. 6.21 Obsah Fe v roztoku HNO_3



Obr. 6.22 Obsah Pb v roztoku HNO_3



Obr. 6.23 Obsah Ni v roztoku HNO_3

V příloze P-V/1 až P-V/4. přikládám protokol o provedení zkoušek.

6.3 Zhodnocení výsledků

V této kapitole se zaměřuji na zhodnocení výsledků provedených experimentálních měření. K posouzení jsou v *Tab. 6.8 a Tab. 6.9* vyjádřeny obsahy vybraných kovů v analyzovaných vyluzích za zvolených podmínek.

Tab. 6.8 Obsahy vybraných kovů v analyzovaných vyluzích H₂SO₄ za zvolených podmínek

Teplota loužení	Doba loužení	Cu [mg/l]	Zn [mg/l]	Fe [mg/l]	Pb [mg/l]	Ni [mg/l]
30	3	5,15	30	100	3,64	8,32
60	3	5,24	37	163	3,79	6,37
30	6	3,61	36	127	3,25	6,97
60	6	3,67	37	280	2,82	15,63

Tab. 6.9 Obsahy vybraných kovů v analyzovaných vyluzích HNO₃ za zvolených podmínek

Teplota loužení	Čas loužení	Cu [g/l]	Zn [g/l]	Fe [g/l]	Pb [g/l]	Ni [g/l]
30	3	22,0	1,2	2,3	1,7	1,5
60	3	28,6	1,9	4,0	2,9	3,1
30	6	25,3	1,8	3,3	2,1	2,1
60	6	36,9	2,0	3,2	3,3	3,1

Z výše uvedených výsledků analýz lze posoudit, že loužení elektroodpadu ovlivňuje mnoho parametrů. Převážně teplota, doba a zvolená kyselina pro loužení. Důležitým parametrem loužení je i poměr K:P, z důvodu co nejvyššího převedení kovu do roztoku. Tento poměr byl u zvolených kyselin rozdílný. U H₂SO₄ jsme zvolili 1:20 a u HNO₃ 1:8.

V případě loužení v H₂SO₄ vyplývá, že s vyšší teplotou dochází k vyššímu množství převedeného kovu do roztoku. Výjimku tvoří ve dvou vzniklých situacích Pb a Ni. Doba

loužení měla za vzniklých okolností značný vliv na Fe a Ni, kdy při narůstající teplotě (60°C) a delší době loužení (6h) došlo k výraznému zvýšení koncentrací těchto kovů.

V případě loužení v HNO₃ vyplývá, že stejně jako u H₂SO₄ s vyšší teplotou dochází k vyššímu množství převedeného kovu do roztoku, mimo Fe, kdy se u něj v jednom případě prokázal opak. Doba loužení měla za vzniklých okolností taktéž podstatný vliv na Cu, Pb a Ni, kdy při narůstající teplotě (60°C) a delší době loužení (6h) došlo ke značnému zvýšení koncentrací těchto kovů. U Cu, Fe, Pb a Ni došlo rovněž ke značnému zvýšení koncentrací ve výluhu i při kratší době loužení (3h) a vyšší teplotě (60°C).

Koncentrace převáděných kovů do roztoku při loužení v obou kyselinách závisí na samotném převáděném kovu, jelikož každý reaguje za určitých podmínek jinak.

Porovnáním výsledků analyzovaných výluhů lze zkonstatovat, že pro získání vyšších koncentrací zájmových kovů z elektroodpadu je vhodnější pro loužení HNO₃.

U výluhu s nejvýše stanoveným obsahem Cu jsem se pokusila cementací získat tento zájmový kov. Cementací jsem získala adekvátní množství Cu, která ale byla znečištěna Fe. Při dalším zkoumání bude potřeba odstranit Fe vyvařením kyselinou. Tento postup jsem již z časového hlediska neuskutečnila.

V dalším postupu získávání kovů z výluhu jsem použila metodu elektrolýzy, ze které jsem na katodě získala malé množství čisté Cu.

Dalším produktem loužení byly odpadní loužence, které byly také podrobeny relativní analýze RTG spektrometrem. Toto měření ukázalo, že většina ušlechtilých kovů zůstala v louženci, což potvrzuje teoretické předpoklady.

Další možné metody pro získání kovů z výluhu budou předmětem dalších experimentů.

V přílohách této práce jsou umístěny schémata související se zpracováním elektroodpadu a protokoly z provedených analýz.

7 Závěr

V závěru své práce bych zhodnotila problematiku související s elektrotechnickým a elektronickým odpadem, metody používané k jeho zpracování, ekologické a ekonomické aspekty recyklace tohoto odpadu. Cílem mé práce bylo zaměřit se na hydrometalurgické metody používané ke zpracování elektroodpadu a na způsoby získávání kovů z výluhů.

Elektroodpad je v současné době neodmyslitelnou součástí našeho života. Elektrospotřebiče využívá populace denně v domácnostech, v práci a i pro zábavu. Z důvodu nižších cen těchto zařízení a přicházením jejich nových a modernějších modelů na trh se stává tento druh odpadu nejrychleji rostoucím. V celosvětovém měřítku tvoří elektroodpad až 5% celkové hmotnosti tzv. pevného domácího odpadu, a proto je potřeba se zaměřit na jeho zneškodňování. Význam využívání elektroodpadu k recyklaci stále více roste jak z ekologického, tak i ekonomického pohledu a v souvislosti se současnou legislativou dochází ke snižování nevyužitého elektroodpadu.

Hydrometalurgické metody patří k často využívaným se způsobům pro zpracování elektroodpadu. Mezi přednosti využití těchto metod patří kupříkladu efektivní výtěžek kovů a další možnost zpracování odpadního loužence pro získání druhotných surovin. Účinná kontrola kontaminace životního prostředí a vhodnější pracovní podmínky (nízká prašnost, nízké teploty) jsou taktéž důležitým aspektem tohoto způsobu zpracování. Výhodné použití těchto metod je rovněž spojené s ekonomickou účinností v rámci používání sorpčních a extrakčních metod.

V experimentální části jsem se zabývala loužením vybraných druhů elektroodpadu, kdy jsem demontované a mechanicky upravené složky tohoto odpadu loužila v kyselinách. Získané výluhy byly dále podrobeny analýze atomovou absorpční spektrometrií na zájmové kovy.

Prostřednictvím této práce jsem získala nové poznatky o hydrometalurgických možnostech zpracování elektroodpadu a způsobech získávání kovů z výluhů, které by měly být předmětem dalších experimentů.

Seznam použité literatury

- [1]. **Ministerstvo životního prostředí ČR.** Elektrozařízení. [Online] 2015. [Citace: 8. Únor 2016.] <http://www.mzp.cz/cz/elektrozarizeni>.
- [2]. **Parlament České republiky.** Vyhledávání v zákonech - Zákon č. 184/2014 Sb. *Portál veřejné správy*. [Online] Ministerstvo vnitra, 2016. [Citace: 15. Únor 2016.] <https://portal.gov.cz/app/zakony/zakonInfo.jsp?idBiblio=82525&fulltext=z~C3~A1kon~20o~20odpadech&nr=184~2F2014&rpp=15#local-content>.
- [3]. **Ministerstvo životního prostředí ČR.** Vybrané ukazatele odpadového hospodářství v oblasti odpadních elektrických a elektronických zařízení za rok 2014. [Online] Leden 2016. [Citace: 16. Únor 2016.] [http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/odpadni_elektronicka_zarizeni_nakladani_cr/\\$FILE/OODP-vybrane_ukazatele_elektrozarizeni20160120.pdf](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/odpadni_elektronicka_zarizeni_nakladani_cr/$FILE/OODP-vybrane_ukazatele_elektrozarizeni20160120.pdf).
- [4]. **Ministerstvo životního prostředí.** Vyhledávání v zákonech - Vyhláška č. 65/2010 Sb. *Portál veřejné správy*. [Online] Ministerstvo vnitra, 2016. [Citace: 15. Únor 2016.] <https://portal.gov.cz/app/zakony/zakonInfo.jsp?idBiblio=70617&nr=65~2F2010&rpp=15#local-content>.
- [5]. **Ministerstvo životního prostředí ČR.** Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů, Část první, § 1. [Online] 15. Květen 2001. [Citace: 5. Únor 2016.] [http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/nakladani_s_elektrozarizeni_elektroodpadem_legislative/\\$FILE/OODP-zakon_185_2001_o_odpadech-20141119.pdf](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/nakladani_s_elektrozarizeni_elektroodpadem_legislative/$FILE/OODP-zakon_185_2001_o_odpadech-20141119.pdf).
- [6]. **ELEKTROWIN a.s.** Fungování kolektivního systému. [Online] EPUBLISHER, 2015. [Citace: 10. Únor 2016.] <http://www.elektrowin.cz/cs/verejnost-a-spotrebitele/fungovani-kolektivniho-systemu.html>.
- [7]. **Ministerstvo životního prostředí ČR.** Provozovatelé kolektivních systémů se souhlasem pro zajištění financování nakládání s elektroodpady a s historickými elektrozařízeními. [Online] 16. Zář 2015. [Citace: 11. Únor 2016.] [http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/kolektivni_systemy_oeez/\\$FILE/OODP-kontakty_kol_systemy-20150916.pdf](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/kolektivni_systemy_oeez/$FILE/OODP-kontakty_kol_systemy-20150916.pdf).

-
- [8]. **ASEKOL a.s.** Naše portfolio. [Online] 2014. [Citace: 1. Únor 2016.] <http://www.asekol.cz/asekol/nase-portfolio/>.
- [9]. **EKOLAMP s.r.o.** O nás. [Online] Simopt s.r.o., 2014. [Citace: 20. Únor 2016.] <http://www.ekolamp.cz/cz/o-spolecnosti/o-nas>.
- [10]. **REMA SYSTÉM a.s.** O nás. [Online] 2012. [Citace: 20. Únor 2016.] <http://www.remasystem.cz/index.php/o-nas.html>.
- [11]. **RETELA s.r.o.** O nás. [Online] Inspirio s.r.o., 2015. [Citace: 2. Březen 2016.] <http://www.retela.cz/o-nas>.
- [12]. —. Zpracovatelé. [Online] Inspirio s.r.o., 2015. [Citace: 2. Březen 2016.] <http://www.retela.cz/zpracovatele>.
- [13]. **ELEKTROWIN a.s.** Financování kolektivního systému. [Online] EPUBLISHER, 2015. [Citace: 10. Únor 2016.] <http://www.elektrowin.cz/cs/verejnost-a-spotrebitele/financovani-kolektivniho-systemu.html>.
- [14]. **Asociace recyklátorů elektronického odpadu.** [Online] 2016. [Citace: 6. Březen 2016.] <http://www.areo-cr.cz/>.
- [15]. **MHM EKO s.r.o.** O společnosti. [Online] 2016. [Citace: 5. Březen 2016.] <http://www.mhmeko.cz/spolecnost.html>.
- [16]. **PRAKTIK SYSTEM s.r.o.** Zpracování a produkty. *PRAKTIK GROUP*. [Online] eBRÁNA, 2016. [Citace: 7. Březen 2016.] <http://www.praktiksystem.cz/zpracovani-a-produkty>.
- [17]. —. O firmě. *PRAKTIK GROUP*. [Online] eBRÁNA, 2016. [Citace: 7. Březen 2016.] <http://www.praktiksystem.cz/o-firme>.
- [18]. **SAFINA a.s.** Recyklace. [Online] PORING s.r.o., RedWeb s.r.o., 2016. [Citace: 9. Březen 2016.] <http://www.safina.cz/vykup-recyklace-drahych-kovu>.
- [19]. **STEELMET s.r.o.** Služby. [Online] 2016. [Citace: 17. Březen 2016.] <http://www.steelmet.cz/sluzby/>.
- [20]. **PAZDERA, Petr.** O společnosti. *Rumpold s.r.o.* [Online] Imperssum, 2016. [Citace: 21. Březen 2016.] <http://www.rumpold.cz/cs/o-nas/>.

-
- [21]. **RUMPOLD s.r.o.** Elektroodpady. [Online] Imperssum, 2016. [Citace: 21. Březen 2016.] <http://www.rumpold.cz/cs/sluzby/#elektro>.
- [22]. **VITARO s.r.o.** Úvod. [Online] SUTU websites SE, 2015. [Citace: 6. Duben 2016.] <http://vitaro.cz/cs/>.
- [23]. **ENVIROPOL s.r.o.** Úvod. [Online] 2012. [Citace: 3. Březen 2016.] <http://www.enviropol.cz/>.
- [24]. —. Služby. [Online] 2012. [Citace: 3. Březen 2016.] <http://www.enviropol.cz/sluzby/>.
- [25]. **European Commission.** Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE). [Online] 30. Březen 2016. [Citace: 6. Duben 2016.] http://ec.europa.eu/environment/waste/weee/legis_en.htm.
- [26]. —. History of the WEEE Recast. [Online] 30. Březen 2016. [Citace: 6. Duben 2016.] http://ec.europa.eu/environment/waste/weee/history_en.htm.
- [27]. **VITEJTENAZEMI.CZ.** Odpady v Evropské unii. [Online] CITTADELLA.CZ, 2013. [Citace: 8. Duben 2016.] http://www.vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=odpady_v_evropske_unii&site=odpady.
- [28]. **SMT CENTRUM.** Základní materiály pro výrobu desek plošných spojů. [Online] 2. Červen 2010. [Citace: 3. Únor 2016.] <http://www.smtcentrum.cz/vyroba-desek-plosnych-spoju/zakladni-materialy-pro-vyrobu-desek-plosnych-spoju/>.
- [29]. **EKOLAMP s.r.o.** Spolupracujeme. [Online] Simopt s.r.o., 2014. [Citace: 10. Duben 2016.] <http://www.ekolamp.cz/cz/o-spolecnosti/spolupracujeme>.
- [30]. **ELEKTROWIN a.s.** WEEE forum. [Online] EPUBLISHER, 2015. [Citace: 11. Únor 2016.] <http://www.elektrowin.cz/cs/o-spolecnosti/weee-forum.html>.
- [31]. **ENVIROPOL s.r.o.** Služby. [Online] 2013. [Citace: 17. Duben 2016.] <http://www.enviropol.sk/>.
- [32]. **KRIŠTOFOVÁ, Dana.** *Kovy a životní prostředí.* Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2005. ISBN 80-248-0740-8.
- [33]. **BROŽOVÁ, Silvie, KONSTANCIÁK, Anna a kolektiv.** *Možnosti recyklace vybraných materiálů.* Ostrava : Akademické nakladatelství CERM s.r.o., Brno, 2014. ISBN 978-80-7204-880-9.

-
- [34]. **BROŽOVÁ, Silvie, MALCHARCZIKOVÁ, Jitka a kolektiv.** *Elektroodpad - analýza a možnosti využití*. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, FMFI, 2008. ISBN 978-80-248-1867-2.
- [35]. **ASEKOL a.s.** Co, proč a jak? [Online] 2014. [Citace: 1. Únor 2016.] <http://www.asekol.cz/spotrebitele/proc-recyklovat/co-proc-a-jak/>.
- [36]. **KASA.CZ.** Ekologie s ASEKOL. [Online] HP TRONIC Zlín, spol. s.r.o., 2016. [Citace: 6. Únor 2016.] <https://www.kasa.cz/asekol/>.
- [37]. **step-initiative.org.** Step e-waste world map. [Online] United Nations University, 23. Duben 2015. [Citace: 16. Březen 2016.] <http://www.step-initiative.org/step-e-waste-world-map.html>.
- [38]. **KRIŠTOFOVÁ, Dana.** *Recyklace kovonosných odpadů*. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, FMFI, 2002.
- [39]. **ŠTEFEK, Petr.** GeForce 8800GTS na dietě - 320MB GTS v akci. *PCTuning.cz*. [Online] EMPRESA MEDIA a.s., 13. Únor 2007. [Citace: 3. Únor 2016.] http://pctuning.tyden.cz/hardware/graficke-karty/8229-geforce_8800gts_na_diete-320mb_gts_v_akci?start=2. ISSN 1214-0201.
- [40]. **ORÁČ, Dušan.** *Komplexné spracovanie použitých dosiek plošných spojov*. Košice : Technická univerzita v Košiciach, Hutnícka fakulta, 2014.
- [41]. **HAVLÍK, Tomáš.** *Hydrometalurgia*. Košice : Emilena Košice, 2005. ISBN 80-8073-337-6.
- [42]. **LOSERTO VÁ, Monika, SKOTNICOVÁ, Kateřina.** *Základy výroby neželezných kovů. Katedra neželezných kovů, rafinace a recyklace-637*. [Online] 2013. [Citace: 19. duben 2016.] <http://katedry.fmfi.vsb.cz/637/soubory/ZVNzK-Los-Skot.pdf>.
- [43]. **VŠB-TU Ostrava, Hornicko-geologická fakulta.** Chemické metody zpracování nerostných surovin a odpadů. *Institut environmentálního inženýrství (546)*. [Online] 2016. [Citace: 19. Duben 2016.] <http://hgfl0.vsb.cz/546/Chemproc/>.
- [44]. **KRIŠTOFOVÁ, Dana.** *Recyklace ušlechtilých kovů*. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2001. ISBN 80-7078-939-5.
- [45]. **TŘÍDĚNÍODPADU.CZ.** Jak se recykluje elektroodpad. [Online] CONCEPT42, 2016. [Citace: 1. Únor 2016.] <http://www.trideniodpadu.cz/#!jak-se-recykluje-elektroodpad/cii3>.

-
- [46]. **AZRODINA.CZ**. Vysloužilé elektrospotřebiče do popelnice nepatří. [Online] AZRODINA.cz, 2016. [Citace: 4. Únor 2016.] www.azrodina.cz/1629-vyslouzile-elektrospotrebi.
- [47]. **TŘÍDĚNÍODPADU.CZ**. Elektroodpad - Co s uhynulými elektrospotřebiči. [Online] CONCEPT42, 2016. [Citace: 8. Únor 2016.] <http://www.trideniodpadu.cz/#!/elektroodpad/c1fjh>.
- [48]. **ASEKOL a.s.** LCA studie 2009. [Online] 2014. [Citace: 1. Únor 2016.] <http://www.asekol.cz/spotrebitele/proc-recyklovat/lca-studie/2009/>.
- [49]. **REMA SYSTÉM a.s.** Základní pojmy. [Online] 2012. [Citace: 4. Únor 2016.] <http://www.remasystem.cz/index.php/obcane/zakladni-pojmy.html>.
- [50]. **ELEKTROWIN a.s.** Co je recyklační poplatek. [Online] EPUBLISHER, 2015. [Citace: 5. Únor 2016.] <http://www.elektrowin.cz/cs/informace-pro-verejnost/kolobeh-elektrospotrebice/koupili-jste-novy/co-je-recyklaalni-prispevek.html>.
- [51]. **REMA SYSTÉM a.s.** Smlouva o zajištění plnění povinností výrobce elektrozařízení - Příloha č.2 ceník. [Online] 1. Červenec 2015. [Citace: 5. Únor 2016.] http://www.remasystem.cz/images/documents/Ceniky_2015/CEN%C3%8DK%20_Sk.3.pdf.
- [52]. **MIKUDÍK, Radek**. Apple loni vytěžil zlato za miliardu. Stačil mu k tomu elektronický šrot. *mobil.idnes.cz*. [Online] MAFRA a.s., 18. Duben 2016. [Citace: 19. Duben 2016.] http://mobil.idnes.cz/apple-zlato-stare-iphony-imac-d22-/iphone.aspx?c=A160418_143041_iphone_ram.
- [53]. **ASEKOL a.s.** LCA Studie. [Online] 2014. [Citace: 1. Únor 2016.] <http://www.asekol.cz/spotrebitele/lca-studie/>.
- [54]. —. LCA studie 2011. [Online] 2014. [Citace: 1. Únor 2016.] <http://www.asekol.cz/spotrebitele/proc-recyklovat/lca-studie/2011/>.
- [55]. —. LCA studie 2014. [Online] 2014. [Citace: 1. Únor 2016.] <http://www.asekol.cz/spotrebitele/proc-recyklovat/lca-studie/lca-studie-2014/>.
- [56]. —. LCA studie 2013. [Online] 2014. [Citace: 1. Únor 2016.] <http://www.asekol.cz/spotrebitele/proc-recyklovat/lca-studie/lca-studie-2013/>.

[57]. **LNĚNÍČKOVÁ, L., PUČOVÁ, J. a ŠVANDOVÁ, V.** Elektrolýza. *Webchemie*.

[Online] Creative Commons, 18. Únor 2014. [Citace: 4. Únor 2016.]

<http://www.webchemie.cz/elektrolyza.html>.

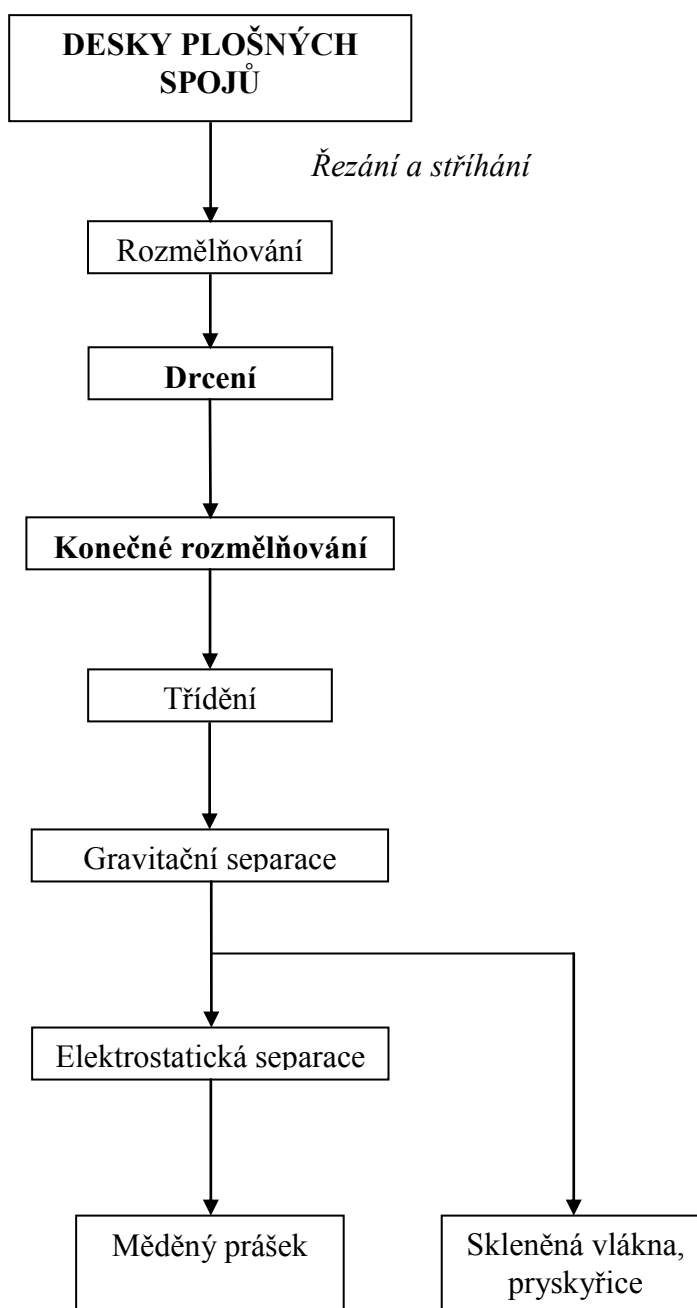
[58]. **KAŇA, Antonín a MESTEK, Oto.** Atomová absorbční spektrometrie. *Ústav*

analytické chemie VŠCHT Praha. [Online] 2016. [Citace: 3. Únor 2016.]

<http://old.vscht.cz/anl/lach2/AAS.pdf>.

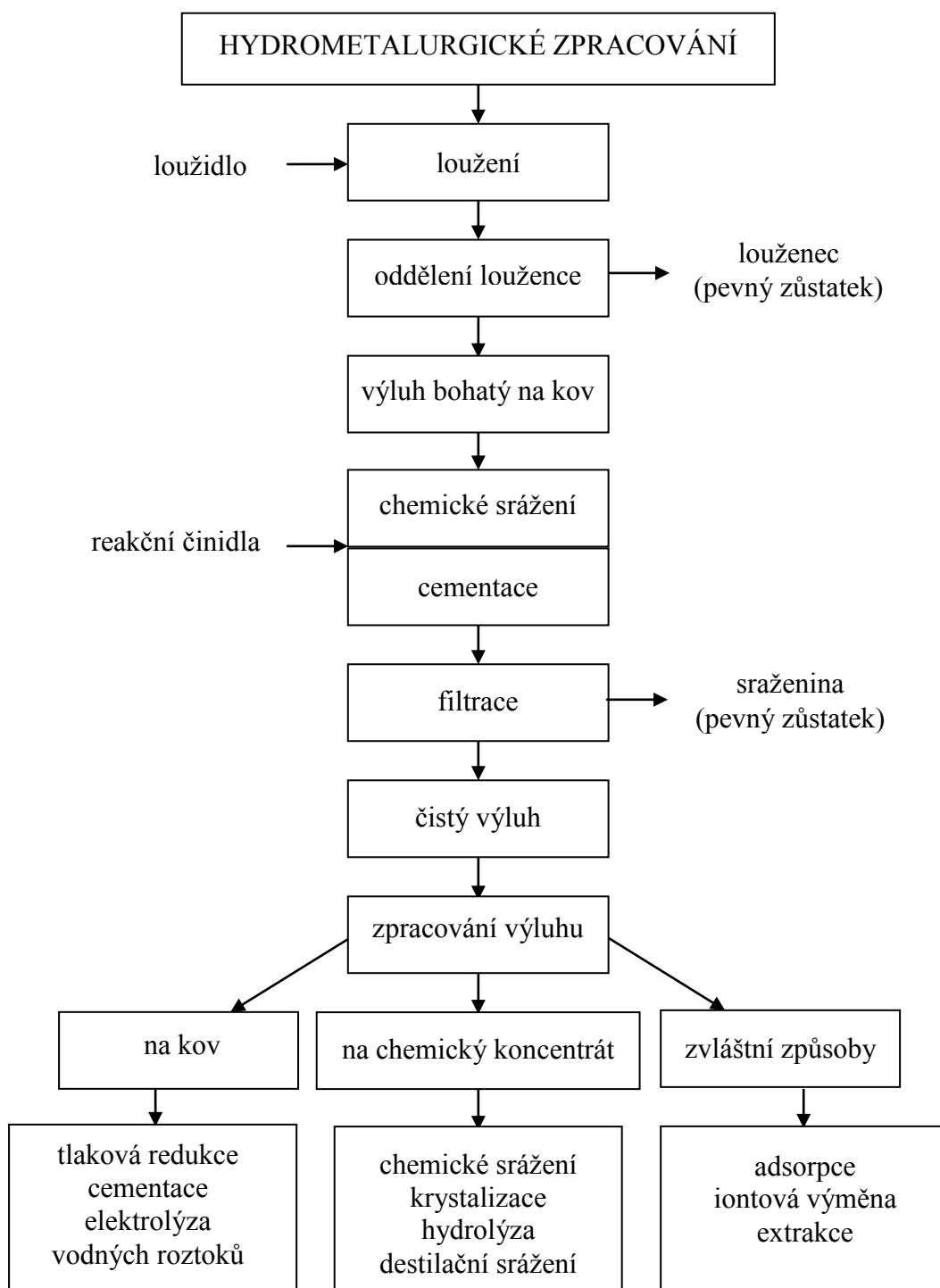
Seznam příloh

Příloha I. Schéma mechanického zpracování odpadu desek plošných spojů	P-I/1
Příloha II. Schéma hydrometalurgického zpracování	P-II/1
Příloha III. Schéma společného zpracování surovin	P-III/1
Příloha IV. Schéma pyrometalurgického zpracování	P-IV/1
Příloha V. Protokol o provedení zkoušek	P-V/1
	P-V/2
	P-V/3
	P-V/4

P-I Schéma mechanického zpracování odpadu desek plošných spojů

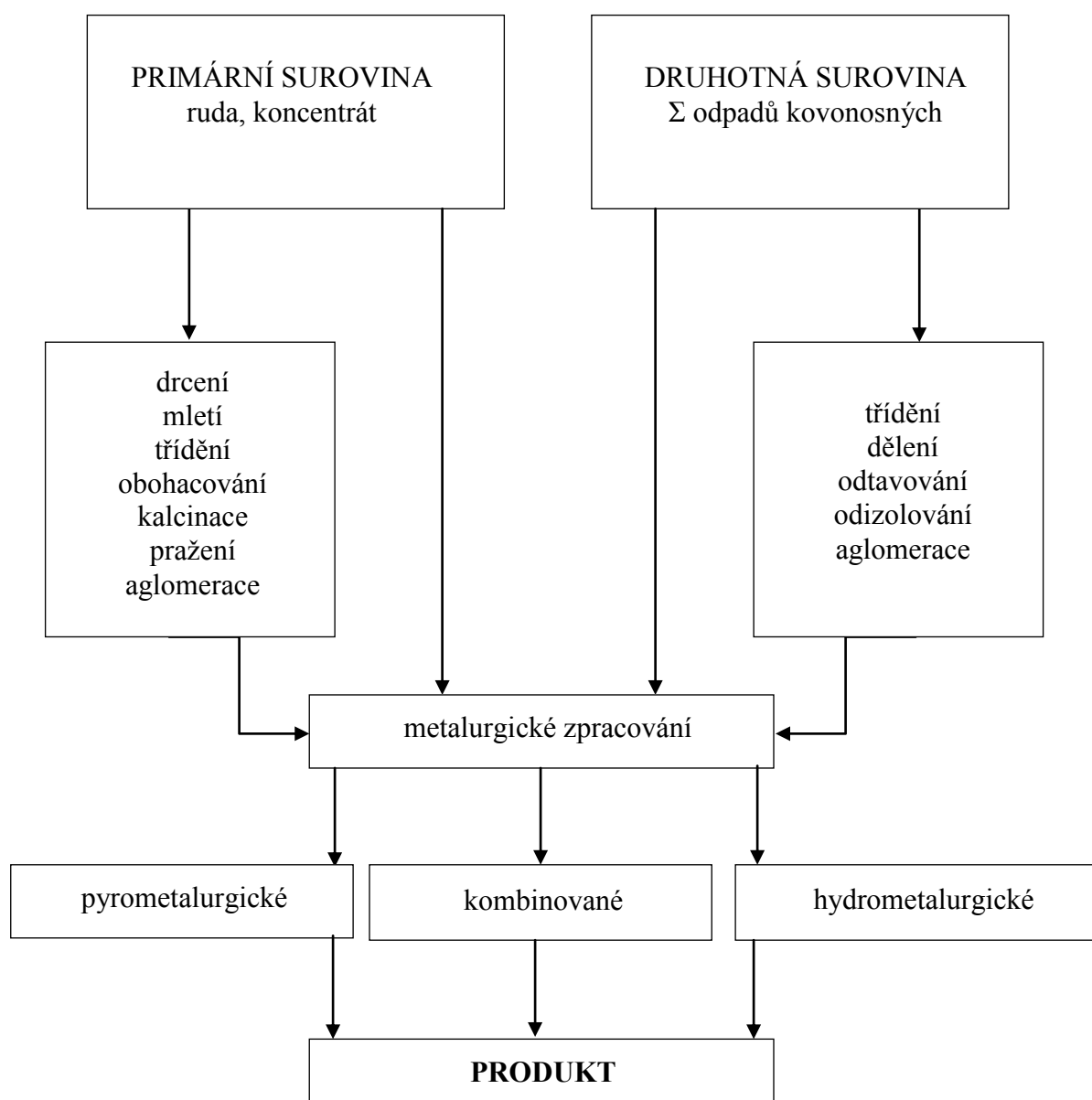
P-I/1 Schéma mechanického zpracování odpadu desek plošných spojů [32]

P-II Schéma hydrometalurgického zpracování



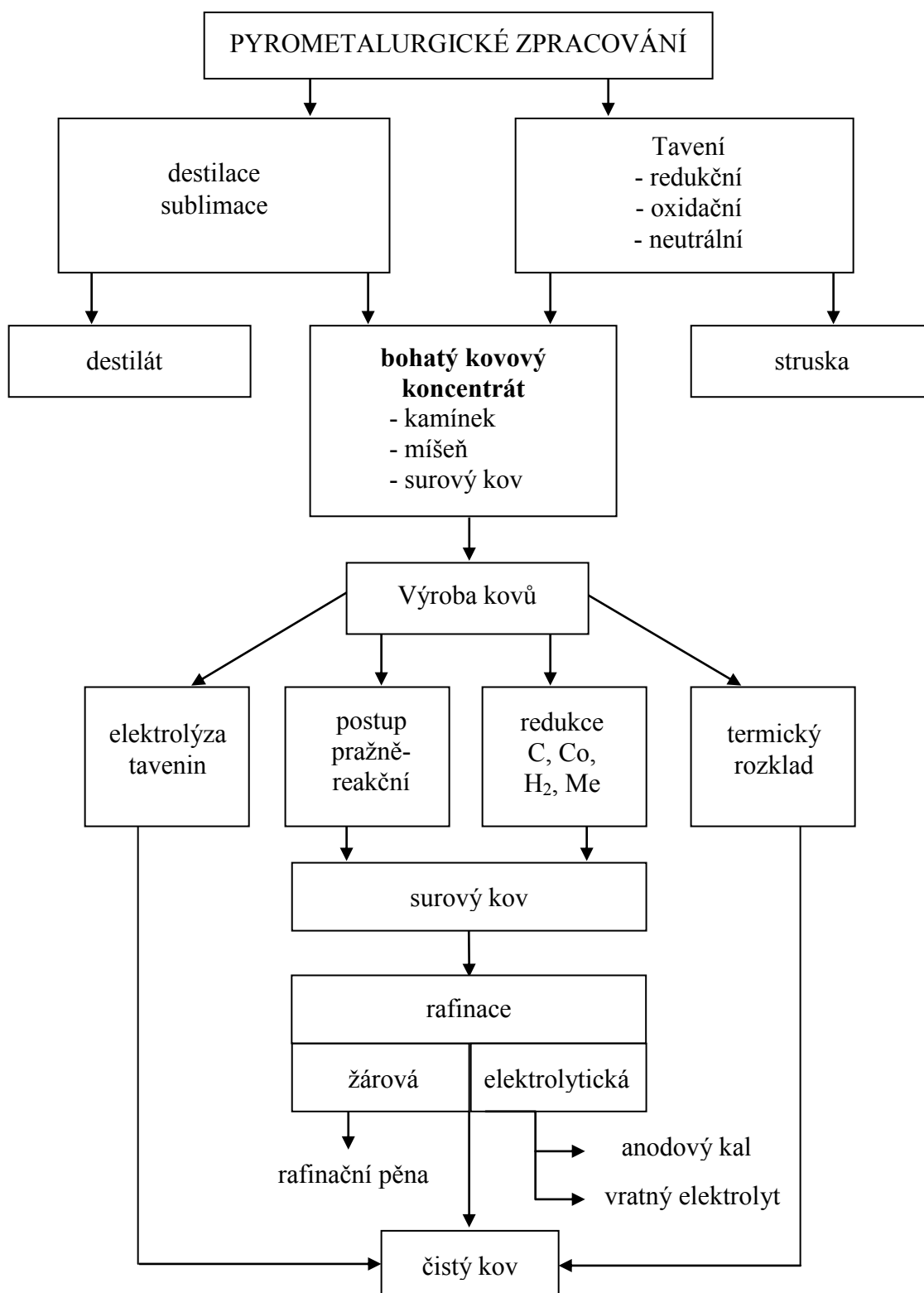
P-II/1 Schéma hydrometalurgického zpracování [44]

P-III Schéma společného zpracování surovin



P-III/1 Schéma společného zpracování primárních a druhotných surovin [44]

P-IV Schéma pyrometalurgického zpracování



P-IV/1 Schéma pyrometalurgického zpracování [44]

P-V Protokol o provedení zkoušek



CENTRUM NANOTECHNOLOGIÍ
VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
17. LISTOPADU 15, 708 33 OSTRAVA – PORUBA

tel.: 597 321 549 (1545)
E-Mail: jana.seidlerova@vsb.cz

fax: 597321640

PROTOKOL O PROVEDENÍ ZKOUŠEK

Číslo protokolu: 90/16

Strana č.: 1
Počet stran protokolu: 3
Počet stran příloh: 0

Zákazník: Diplomanti, Bc. Klára Beníčková

Číslo zakázky CNT: 016-16

Předmět zkoušek: Výluh z elektroodpadu v 10% HNO₃

Původní označení	Číslo vzorku CNT
10 – 3 hodiny – 30°C	316/16
11 – 3 hodiny – 60°C	317/16
12 – 6 hodin – 30°C	318/16
13 – 6 hodin – 60°C	319/16

Požadované analýzy: Stanovení Cu, Fe, Ni, Pb a Zn.

Datum přijetí vzorků: 1. 3. 2016

Datum provedení zkoušek: 1. – 21. 3. 2016

Popis odběru vzorků: Vzorky byly odebrány zadavatelem, CNT neručí za chyby vzniklé nesprávným vzorkováním.

Použité metody: akreditované zkoušky

Analýza	SOP č.	Identifikace zkušební postupu	Modifikace metody
Stanovení Cu, Fe, Ni, Pb a Zn metodou plamenové AAS	OAA-05-01A	Návody k přístroji	-
Stanovení Cu, Fe, Ni, Pb a Zn metodou ICP-AES	OAA-06-01A	US EPA metoda 6010	-

M – metoda byla modifikována v rámci flexibilního rozsahu akreditace laboratoře

Výsledky zkoušek:

Označení analytu	Cu [g/l]	Zn [mg/l]	Fe [mg/l]	Pb [mg/l]	Ni [mg/l]
316/16	22,0	1232	2262	1718	1470
317/16	28,6	1884	3963	2940	3141
318/16	25,3	1796	3348	2051	2141
319/16	36,9	1987	3192	3328	3120

P-V/1 Protokol o provedení zkoušek (č. prot.: 90/16, str. 1)



CENTRUM NANOTECHNOLOGIÍ
VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
17. LISTOPADU 15, 708 33 OSTRAVA – PORUBA

tel.: 597 321 549 (1545)
E-Mail: jana.seidlerova@vsb.cz

fax: 597321640

PROTOKOL O PROVEDENÍ ZKOUŠEK

Číslo protokolu: 90/16

Strana č.: 2
Počet stran protokolu: 3

Pozn.: Koncentrace jednotlivých analytů byly ověřeny dvěma nezávislými metodami..


Relativní nejistota stanovení: Cu \pm 3%, Fe \pm 7%, Ni \pm 3%, Pb \pm 3% a Zn \pm 4%.


Uvedené nejistoty byly stanoveny jako rozšířené nejistoty ($k=2$), pro konfidenční úroveň 95%.

Datum vystavení protokolu: 29.3.2016

Výsledky zkoušek se týkají pouze předmětu zkoušky a nenahrazují jiné dokumenty (např. správního charakteru), které jsou orgány státního odborného dozoru podle specifických předpisů požadovány.

Protokol může být reprodukován jedině celý, jinak pouze s písemným souhlasem ředitele CNT.


Protokol vypracoval:
Ing. Šárka Tomisová


Odpovědný pracovník:
prof. Ing. Jana Seidlerová, CSc.
vedoucí oddělení anorganické analýzy


Ředitel CNT:
prof. Ing. Jaromír Pířtora, CSc.



P-V/2 Protokol o provedení zkoušek (č. prot.: 90/16, str. 2)



CENTRUM NANOTECHNOLIÍ
VYSOKÁ ŠKOLA BAŇSKÁ - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
17. LISTOPADU 15, 708 33 OSTRAVA – PORUBA

tel.: 597 321 549 (1545)
E-Mail: jana.seidlerova@vsb.cz

fax: 597321640

PROTOKOL O PROVEDENÍ ZKOUŠEK

Číslo protokolu: 146/16

Strana č.: 1
Počet stran protokolu: 3
Počet stran příloh: 0

Zákazník: Diplomanti CNT, Bc. Klára Beníčková

Číslo zakázky CNT: 016-16

Předmět zkoušek: Výluh z elektroodpadu v 10% H₂SO₄

Původní označení	Číslo vzorku CNT
1	598/16
2	599/16
3	600/16
4	601/16

Požadované analýzy: Stanovení Cu, Fe, Ni, Pb a Zn.

Datum přijetí vzorků: 7. 4. 2016

Datum provedení zkoušek: 8. 4. 2016

Popis odběru vzorků: Vzorky byly odebrány zadavatelem, CNT neručí za chyby vzniklé nesprávným vzorkováním.

Použité metody: akreditované zkoušky

Analýza	SOP č.	Identifikace zkušebního postupu	Modifikace metody
Stanovení Cu, Fe, Ni, Pb a Zn metodou plamenové AAS	OAA-05-01A	Návody k přístroji	-

M – metoda byla modifikována v rámci flexibilního rozsahu akreditace laboratoře

Výsledky zkoušek:

Číslo vzorku	Označení analytu	Cu [mg/l]	Zn [mg/l]	Fe [mg/l]	Pb [mg/l]	Ni [mg/l]
1.	598/16	5,15	30	100	3,64	8,32
2.	599/16	5,24	37	163	3,79	6,37
3.	600/16	3,61	36	127	3,25	6,97
4.	601/16	3,67	37	280	2,82	15,6

Relativní nejistota stanovení: Cu ± 3%, Fe ± 7%, Ni ± 3%, Pb ± 3% a Zn ± 4%.

P-V/3 Protokol o provedení zkoušek (č. prot.: 146/16, str. 1)



CENTRUM NANOTECHNOLOGIÍ
VYSOKÁ ŠKOLA BAŇSKÁ - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
17. LISTOPADU 15, 708 33 OSTRAVA – PORUBA

tel.: 597 321 549 (1545)
E-Mail: jana.seidlerova@vsb.cz

fax: 597321640

PROTOKOL O PROVEDENÍ ZKOUŠEK

Číslo protokolu: 146/16

Strana č.:2

Počet stran protokolu: 3

Uvedené nejistoty byly stanoveny jako rozšířené nejistoty ($k=2$), pro konfidenční úroveň 95%.

Datum vystavení protokolu: 22. 4. 2016

Výsledky zkoušek se týkají pouze předmětu zkoušky a nenahrazují jiné dokumenty (např. správního charakteru), které jsou orgány státního odborného dozoru podle specifických předpisů požadovány.

Protokol může být reprodukován jedině celý, jinak pouze s písemným souhlasem ředitele CNT.

Mirošová
Protokol vypracoval:
Ing. Martina Mirošová

Seidlerová
Odpovědný pracovník:
prof. Ing. Jana Seidlerová, CSc.
vedoucí oddělení anorganické analýzy

Jaromír Pištor
Ředitel CNT
prof. Ing. Jaromír Pištor, CSc.



P-V/4 Protokol o provedení zkoušek (č. prot.: 146/16, str. 2)